



TUGAS AKHIR - TM 141585

**ANALISIS *SPECIFIC SURFACE AREA* DAN
KAPASITAS MASSA AKTIF ELEKTRODA PLAT
POSITIF *LEAD-ACID BATTERY* VARIASI DUA
PRODUSEN BERBEDA**

**IRVAN ARDIYAN
NRP. 2113100142**

**Dosen Pembimbing
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR – TM141585

**ANALISIS *SPECIFIC SURFACE AREA* DAN
KAPASITAS MASSA AKTIF ELEKTRODA PLAT
POSITIF *LEAD-ACID BATTERY* VARIASI DUA
PRODUSEN BERBEDA**

IRVAN ARDIYAN
NRP. 2113100142

Dosen Pembimbing:
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TM141585

**ANALYSIS OF SPECIFIC SURFACE AREA AND
CAPACITY OF LEAD-ACID BATTERY POSITIVE
PLATE ELECTRODES ACTIVE MASS OF TWO
DIFFERENT MANUFACTURER**

IRVAN ARDIYAN
NRP. 2113100142

Research Supervisor
Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017

**ANALISIS *SPECIFIC SURFACE AREA* DAN
KAPASITAS MASSA AKTIF ELEKTRODA PLAT
POSITIF *LEAD-ACID BATTERY* VARIASI DUA
PRODUSEN BERBEDA**


TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

IRVAN ARDIYAN
NRP. 2113 100 142

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.
NIP. 196303141988031002 (Pembimbing)
 2. Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198005202005011003 (Penguji I)
 3. Ari Kurniawan, ST., MT.
NIP. 198604012015041001 (Penguji II)
 4. Dinny Harnany, S.T., M.Sc.
NIP. 2100201405001 (Penguji III)
- 

SURABAYA

JULI, 2017

**ANALISIS *SPECIFIC SURFACE AREA* DAN
KAPASITAS MASSA AKTIF ELEKTRODA PLAT
POSITIF *LEAD-ACID BATTERY* VARIASI DUA
PRODUSEN BERBEDA**

Nama Mahasiswa	: Irvan Ardiyan
NRP	: 2113100142
Jurusan	: Teknik Mesin FTI ITS
Dosen Pembimbing	: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

Abstrak

Specific surface area massa aktif pada elektroda aki memengaruhi performa dari elektroda. *Active specific surface area* dari material elektroda yang terekspos elektrolit yang berada disekelilingnya berbanding lurus dengan jumlah kapasitas yang dapat dicapai saat proses discharge dan charge terjadi. Peningkatan *Specific surface area* pada masa aktif dapat meningkatkan laju discharge dengan cara meningkatkan laju penetrasi larutan elektrolit yang dapat bereaksi dengan porous active material bagian dalam pada elektroda dan membantu proses difusi H_2O dan H_2SO_4 . Perbedaan pada komposisi pasta, proses curing, proses soaking dan proses forming akan memengaruhi besar *Specific surface area* dari massa aktif elektroda aki. Dengan adanya perbedaan *Specific surface area* dari massa aktif maka akan diikuti oleh perbedaan performa elektroda salah satunya adalah kapasitas karena semakin besar *Specific surface area* dari massa aktif maka semakin besar juga jumlah massa aktif yang terlibat dalam reaksi kimia yang terjadi.

Metode penelitian diawali dengan mengukur *Specific Surface Area* dari 2 spesimen plat yang diproduksi oleh 2 produsen yang berbeda yang dijadikan sampel dengan metode *BET Specific Surface Area Measurement Technique*. Dari pengujian tersebut akan didapatkan besar *Specific Surface Area* dengan satuan m^2 per-gram massa dari tiap-tiap sampel yang diuji. Lalu dibandingkan agar diketahui mana plat yang memiliki *Specific*

surface area lebih tinggi dan mana plat yang memiliki Specific surface area lebih rendah. Setelah mengetahui hal tersebut maka setiap plat diuji kapasitas pada proses charge dan discharge dengan alat Potentiostat/Galvanostat dengan prosedur chrono charge discharge galvanostatic. Hasil dari pengujian dari alat ini adalah besar kapasitas dari plat dengan satuan mAh.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah hubungan antara Specific surface area massa aktif dan kapasitas massa aktif plat aki pada proses charge dan discharge dengan variasi produsen pada plat positif elektroda aki yang kemudian hari dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut dan pembuatan prototype aki yang digunakan untuk deep discharge rate.

Kata Kunci: Aki, Massa Aktif, Specific Surface Area, Kapasitas

ANALYSIS OF SPECIFIC SURFACE AREA AND CAPACITY OF LEAD-ACID BATTERY POSITIVE PLATE ELECTRODES ACTIVE MASS OF TWO DIFFERENT MANUFACTURER

Name : Irvan Ardiyan
NRP : 2113100142
Departement : Mechanical Engineering FTI ITS
Research Supervisor : Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.

Abstract

Specific surface area of active mass on lead acid battery affect the performance of the electrodes. Active specific surface area of the electrodes material that exposed to electrolyte on its surrounding increase linearly with capacity that it can achive on charge and discharge processes. Increase of specific surface area in active mass can increase the penetration rate electrolyte solution which can react with porous active material inside of the electrodes and sustain the H_2O and H_2SO_4 diffusion process. The difference in paste composition, curing process, soaking process and forming process will affect the specific surface area of electrodes active mass. With the difference in specific surface area of active mass the performance will also diffrent, one of which is capacity. The bigger the specific surface area of the active mass, more of the active mass will involved in the chemical reaction.

The research method started with analyzing specific surface area of 2 plate specimen that produced by 2 different manufacturer that have taken as sample with BET Specific Surface Area Measurement Method. From that analysis the specific surface area will be determined in m^2/g mass of each tested sample. And then concluded which positive plate that have bigger specific surface area than the other. After that every plate is again tested for its capacity while undergoes charge and discharge processes with Potentiostat/Galvanostat device with chrono charge

discharge as the testing procedure. From this analysis capacity of each positive plate will be determined in mAh.

The result of this research is the relation between specific surface area of the active mass and the capacity of the lead acid positive plate active mass which in the future can be used in further reaserch and deep discharge rate lead-acid battery prototyping

Keywords: Lead-Acid Battery, Active Material, Specific Surface Area, Capacity

KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadirat Allah Subhanallahu Wa Ta'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Harisman dan Riana Ardiyanti yang selalu mendukung, mendoakan, mendorong, menyemangati, mendoakan dan banyak lagi hal yang tidak mungkin cukup jika hanya diungkapkan dengan kata-kata sehingga penulis bisa menjalani pendidikan dengan semangat dan penuh kegembiraan.
2. Kedua adik penulis, Dava Aditya dan Reza Saputra yang selalu mendoakan dan memberi semangat sehingga penulis bersemangat segera menyelesaikan studinya.
3. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc. yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Suwarno, S.T., M.Sc., Ph.D. , Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T. dan Dinny Harnany, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis tentang Tugas Akhir ini.
5. Segenap civitas academica Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
6. Fiky Nuzulla Darsono yang selalu membantu, menyemangati, meghibur dan mendoakan penulis selama pengerjaan Tugas Akhir sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik.

7. Semua dosen dan guru penulis yang telah memberikan ilmu-ilmu yang berguna.
8. Keluarga Angkatan M56, sebagai teman seperjuangan yang saling mengingatkan dan menyemangati dalam hal kebaikan sejak awal perkuliahan sampai sekarang.

Dengan segala keterbatasan kemampuan serta pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK i

ABSTRACT iii

KATA PENGANTAR..... v

DAFTAR ISI vii

DAFTAR GAMBAR xi

DAFTAR TABEL xv

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 5

1.3 Batasan Masalah..... 6

1.4 Tujuan Penelitian..... 6

1.5 Manfaat Penelitian..... 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9

2.1 Dasar Teori 9

2.1.1 Konstruksi dan Reaksi Pada Aki 9

2.1.2 Jenis-Jenis Aki..... 15

2.1.3 Senyawa Lead yang Terlibat dalam Produksi Aki
16

2.1.4 Charging dan Discharging Aki 18

2.1.5 Proses Sintesis Plat Baterai Lead-Acid 20

2.1.6 BET Specific surface area Measurement..... 24

2.1.7 Teknik Elektroanalisis	25
2.2 Penelitian Terdahulu.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	33
3.2 Studi Literatur.....	35
3.3 Melakukan Percobaan	35
3.3.1 Pengujian Specific surface area Measurement	35
3.3.2 Pengujian Elektroanalisis Menggunakan Potentiostat/Galvanostat	36
3.4 Analisis Data dan Pembahasan.....	37
3.5 Kesimpulan dan Saran	37
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Data Hasil Pengujian	39
4.1.1 Data Hasil Pengujian Kapasitas Menggunakan Potentiostat/Galvanostat	39
4.1.2 Data Hasil Pengujian BET Surface Area.....	49
4.2 Teori Terkait.....	50
4.3 Analisis Data dan Pembahasan.....	52
4.3.1 Perbandingan Hasil Data Kapasitas.....	53
4.3.2 Perbandingan Data Kapasitas Tiap Cycle Pada Spesimen Yang Diuji Sebanyak 50 Cycle.....	55
4.3.3 Perbandingan Data Pengujian Cut-off Voltage 1.95 Selama 10 Cycle	58
4.3.4 Kesesuai Terhadap Teori dan Pembahasan	59

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN	xvii
BIODATA PENULIS.....	xix

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pertumbuhan Kendaraan di Indonesia [1].....	2
Gambar 2. 1 Struktur pada Aki [5].....	9
Gambar 2. 2 Struktur Satu Sel Aki [6].....	10
Gambar 2. 3 Visualisasi Positive Active Mass (Massa Aktif Positif) dan Negative Active Mass (Massa Aktif Negatif) [5]	11
Gambar 2. 4 Diagram Reaksi pada Saat Discharge [5]	13
Gambar 2. 5 Struktur Mikroskopis Massa Aktif [6]	13
Gambar 2. 6 Unit cell (a) α -PbO ₂ (b) β -PbO ₂	18
Gambar 2. 7 Kurva Beda Potensial pada Aki Berbanding waktu Discharge [5]	19
Gambar 2. 8 Kurva Beda Potensial Aki dalam Kondisi Charge dengan Arus Konstan [5].....	19
Gambar 2. 9 Kurva Beda Potensial dan Waktu yang Dibutuhkan dalam pemulihan Aki [5].....	20
Gambar 2. 10 Pengaruh kapasitas discharge awal baterai terhadap lama pencelupan	22
Gambar 2. 11 Pengaruh densitas dan lama pencelupan H ₂ SO ₄ terhadap cycle life pasta 4BS	22
Gambar 2. 12 Alat Uji BET	24
Gambar 2. 13 Profil konsentrasi untuk reduksi sebuah spesies pada cyclic voltammetry (Linden, D., Reddy, T.B. 2001)	26
Gambar 2. 14 (kiri) perubahan voltase terhadap waktu dalam cyclic voltammetry dan (kanan) kurva yang dihasilkan cyclic voltammetry (Linden, D., Reddy, T.B. 2001)	26
Gambar 2. 15 Perbandingan antara plot reaksi elektrokimia (a) reversibel (b) semi-reversibel (c) irreversibel dalam pengujian cyclic voltammetry	27
Gambar 2. 16 Ilustrasi nyquist plot.....	28

Gambar 2. 17 Sebaran % vol Porosity vs BET Specific surface area [3]	30
Gambar 2. 18 Grafik BET Specific surface area vs kapasitas plat [6]	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 3. 2 BET Specific surface area Analyzer	35
Gambar 3. 3 Alat Potentiostat/Galvanostat	37
Gambar 4. 1 Spesimen Plat Produsen 1 Sebelum Dipotong	40
Gambar 4. 2 Spesimen Plat Produsen 2 Sebelum Dipotong	40
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan discharge curve spesimen Produsen 1	41
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan discharge curve spesimen Produsen 2	43
Gambar 4. 5 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 1 Produsen 1	45
Gambar 4. 6 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 1 Produsen 1	45
Gambar 4. 7 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 1 Produsen 2	46
Gambar 4. 8 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 2 Produsen 2	46
Gambar 4. 9 Grafik 10 cycle dengan cut-off voltage 1.95 V Produsen 1	47
Gambar 4. 10 Grafik 10 cycle dengan cut-off voltage 1.95 V Produsen 2	48
Gambar 4. 11 Grafik waktu discharge pengujian dengan cut-off voltage 1.95 selama 10 cycle	48
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan perbedaan BET surface area terhadap konsentrasi penambahan karbon	52
Gambar 4. 13 Grafik perbandingan kapasitas tiap produsen	54

Gambar 4. 14 Data Hasil Kapasitas Tiap Cycle Uji 50 Cycle Produsen 1	56
Gambar 4. 15 Data Hasil Kapasitas Tiap Cycle Uji 50 Cycle Produsen 2	56
Gambar 4. 16 Perbandingan Kapasitas Uji 50 Cycle Produsen 1 dan Produsen 2	57
Gambar 4. 17 Data hasil kapasitas tiap cycle pengujian cut-off voltage 1.95 Volt	58

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

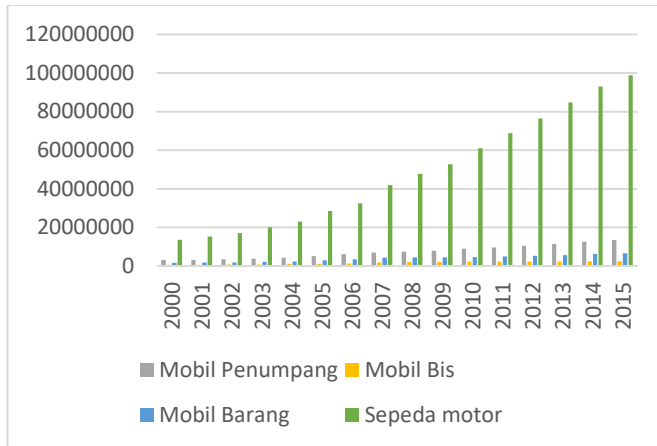
Tabel 1. 1 Perbandingan performa jenis-jenis baterai [2]	3
Tabel 1. 2 Tabel komposisi plat Produsen 1 dan Produsen 2	5
Tabel 4. 1 Tabel hasil pengujian BET massa aktif plat Produsen 1.....	49
Tabel 4. 2 Tabel hasil pengujian BET massa aktif plat Produsen 2	50
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perhitungan Kapasitas.....	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu, pengguna kendaraan bermotor semakin meningkat dari tahun ke tahun, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1 yaitu jumlah pertumbuhan kendaraan di Indonesia, hal ini membuat kebutuhan komponen-komponen pendukung pada sebuah kendaraan pun semakin banyak diproduksi, salah satunya adalah aki. Peningkatan permintaan kendaraan bermotor di Indonesia menuntut industri otomotif untuk lebih meningkatkan produksi komponen-komponen yang mendukung dari kendaraan tersebut. Permintaan yang terus meningkat ini memacu perusahaan jasa dan manufaktur terus menerus meningkatkan hasil produksinya, baik dalam hal kualitas maupun dalam hal pelayanan terhadap konsumen. Hal tersebut dilakukan agar konsumen tetap setia terhadap produk yang dibuat oleh perusahaan tersebut. Maka dari itu perusahaan manufaktur khususnya harus mampu memberikan jaminan kepada konsumen untuk meyakinkan bahwa produk yang dihasilkannya adalah produk yang berkualitas tinggi dengan harga yang relatif rendah dibandingkan dengan produk perusahaan lain yang sejenis. Selain itu performa baterai dituntut untuk semakin canggih dengan bermunculannya teknologi otomotif yang menggunakan banyak komponen. Dengan banyaknya teknologi baru dibidang elektronik, maka performa baterai juga harus dikembangkan guna menunjang teknologi yang semakin canggih dan menuntut performa serta efisiensi yang sangat tinggi.



Gambar 1. 1 Pertumbuhan Kendaraan di Indonesia [1]

Aki atau *Lead-Acid Battery*, merupakan salah satu jenis baterai. Bisa dilihat pada tabel 1.1 bahwa aki menjadi pilihan utama sebagai *supply* energi listrik kendaraan karena dibandingkan dengan jenis baterai lain aki memiliki rasio *performance* dibanding nilai ekonomis yang terbaik dibanding jenis baterai lain. Didalam gambar tabel 1.1 aki memiliki keunggulan dibidang *self discharge* dan *over charge tolerance* yang baik. Selain itu jika dibandingkan *cycle life* dengan meninjau *cost* maka aki merupakan pilihan yang murah dibanding jenis baterai lain. Keuntungan lain yang ada pada aki adalah jenis baterai ini 100% bisa di-*recycle* sehingga lebih ramah lingkungan karena sampah aki bisa didaur ulang menjadi aki yang baru. Salah satu performa yang dibutuhkan adalah kapasitas baterai. Dengan banyaknya komponen elektrik otomotif maka dibutuhkan juga banyak energi listrik yang tersimpan dalam suatu baterai.

Tabel 1. 1 Perbandingan performa jenis-jenis baterai [2]

	NiCd	NiMH	Lead-Acid	Li-ion	Reuseable Alkaline
Energy Density (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	80
Cycle Life	1500	200-300	200-300	500-1000	50
Overcharge Tolerance	moderate	low	high	very low	moderate
Self Discharge/Bulan	20%	30%	5%	10%	0.3%
Operating Temperature	-40 - 60 °C	-20 - 60 °C	-20 - 60 °C	-20 - 60 °C	0 - 60 °C
Harga Umum	\$ 50	\$ 60	\$ 25	\$ 100	\$ 5
Harga per-cycle	\$ 0.04	\$ 0.12	\$ 0.10	\$ 0.14	\$ 0.10 - \$ 0.50

Porositas adalah ukuran kekosongan ruang pada suatu material dalam satuan persentase volume kekosongan dibandingkan dengan volume total dari material tersebut. Pada plat elektroda aki terdapat porositas pada massa aktifnya. Porositas pada plat aki mempengaruhi permukaan efektif plat tersebut. Dengan adanya porositas larutan elektrolit pada aki dapat menembus ke dalam massa aktif. Jika suatu massa aktif memiliki porositas yang tinggi maka volume elektrolit yang menembus ke dalam massa aktif semakin banyak dan memungkinkan elektrolit menembus sampai massa aktif yang paling dalam. Namun banyaknya volume porositas tidak bisa diabaikan sangat berpengaruh pada performa plat aki karena walaupun semakin tinggi porositas berarti banyak larutan elektrolit namun tidak semua elektrolit tersebut bereaksi dengan material aktif karena hanya sebagian saja dari volume yang mengisi porositas yang kontak dengan material aktif. Bahkan jika porositasnya terlalu besar maka *life cycle* dari elektroda akan berkurang dikarenakan berkurangnya kepadatan dari struktur

material aktif yang akan mengakibatkan buruknya adhesi antara partikel, yang akan mengakibatkan peluruhan. [3]

Specific surface area aktif dari material adalah *Specific surface area* yang terekspos ke larutan elektrolit. *Specific surface area* elektroda yang terekspos oleh elektrolit disekitarnya berbanding lurus dengan kapasitas yang dapat dicapai selama *charge* dan *discharge*. [3] Elektroda yang memiliki *Specific surface area* yang tinggi akan memberikan hasil yang baik selama penggunaan *high power discharge*. Hal ini diakibatkan oleh banyaknya elektrolit yang kontak dengan material aktif sehingga akan menunjang reaksi yang terjadi.

Massa aktif sebagai material yang berpori terbentuk dikarenakan oleh variasi fase dari pasta awal. Komponen penyusun yang berbeda pada pasta awal contohnya pada sifat fisiknya seperti bentuk, diameter partikel, komposisi stoikiometrik, konduktifitas dan laju oksidasi akan mempengaruhi sifat *psychochemical* dari massa aktif. [4] Maka dari itu berbedanya perlakuan pasta pada saat mixing akan memengaruhi porositas dan *Specific surface area* yang akan terbentuk pada plat aki. Dengan variasi *Specific surface area* ini maka performa kapasitas aki juga akan terpengaruh. Contohnya saat proses *discharge* terjadi karena banyaknya elektrolit yang kontak dan bereaksi dengan massa aktif mempengaruhi kapasitas yang dicapai. Untuk mendapatkan performa *discharge* yang baik hasil reaksi aki yang berupa H_2O harus terdifusi dengan H_2SO_4 . Porositas dari massa aktif memengaruhi laju difusi H_2O dan H_2SO_4 . Bentuk porositas yang mendukung aliran dapat membuat H_2O hasil reaksi dapat dengan mudah terdifusi dengan H_2SO_4 . Hal ini mengakibatkan H_2O yang tidak dapat bereaksi dengan material aktif digantikan dengan H_2SO_4 yang dapat bereaksi sehingga reaksi pada material aktif terus berjalan. Pada produsen yang berbeda tentunya berbeda juga komposisi pasta yang digunakan contohnya pada komposisi pasta plat positif Produsen 1 dan Produsen 2 yang dapat dilihat pada tabel

1.2. Hal ini tentunya mengakibatkan adanya perbedaan *specific surface area* dan kapasitas plat yang diproduksi.

Tabel 1. 2 Tabel komposisi plat Produsen 1 dan Produsen 2

Produsen 1 +	Produsen 2 +
Lead Powder	Lead Powder
Susa	Sodium Licnosulfanate
BaSO ₄	H ₂ O
Vanillex	H ₂ SO ₄
Carbon Powder	
Graphite	
H ₂ O	
H ₂ SO ₄	

Penelitian ini mencari tahu pengaruh dari *Specific surface area* yang diukur dengan menggunakan *BET Specific surface area Measurement Technique* dari plat elektroda *lead acid battery* terhadap performa kapasitas plat aki saat mengalami proses *charge* dan *discharge* yang diukur dengan menggunakan alat *Potentiostat/Galvanostat*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah hubungan antara *Specific surface area* dan kapasitas pada massa aktif plat elektroda positif *lead-acid battery* pada saat proses *charge* dan *discharge* dengan variasi plat positif *lead acid battery* yang diproduksi oleh 2 produsen berbeda?
2. Bagaimana perbandingan performa kapasitas dan *specific surface area* plat positif dari kedua produsen tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Berikut ini adalah batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Peralatan yang diteliti adalah plat positif yang diproduksi oleh PT. GS Battery yang selanjutnya akan disebut Produsen 1 dan PT. Indobatt yang selanjutnya disebut sebagai Produsen 2.
2. Variabel-variabel lain yang mempengaruhi kapasitas seperti kesalahan handling spesimen dan kecacatan pada plat elektroda diabaikan dahulu untuk memperkecil ruang lingkup penelitian.
3. Semua plat belum pernah mengalami *cycle charge* dan *discharge*.
4. Data yang diambil berdasarkan uji laboratorium di ITS.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi hubungan antara *Specific surface area* massa aktif plat positif elektroda *lead-acid battery* dan kapasitas pada proses *charge* dan *discharge*.
2. Membandingkan performa kapasitas dari beberapa plat positif aki yang memiliki perbedaan *Specific surface area*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat-manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui hubungan antara *Specific surface area* pada massa aktif plat positif elektroda *lead-acid battery* dan kapasitas pada proses *charge* dan *discharge*.

2. Dapat mengetahui perbandingan performa kapasitas dari beberapa plat posif aki yang memiliki perbedaan *Specific surface area*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

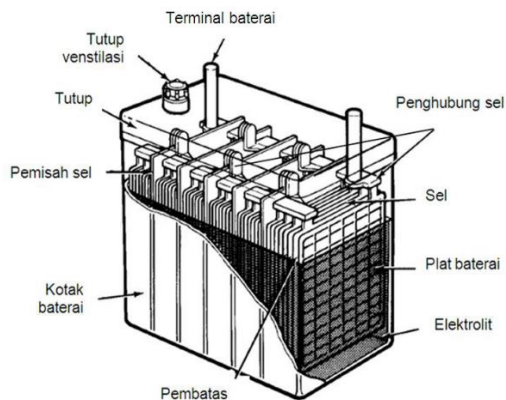
TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan, prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan pada kapasitas massa aktif pada plat aki yang diuji.

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Konstruksi dan Reaksi Pada Aki

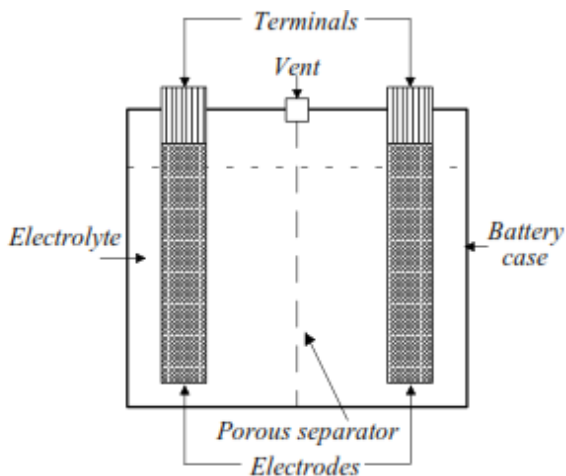
Baterai *lead acid*, atau yang disebut aki berasal dari kata “*accumuleren*” yang berarti mengumpulkan atau menyimpan. Fungsi dari aki sendiri adalah untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Aki termasuk sel sekunder, karena selain menghasilkan arus listrik, aki juga dapat diisi arus listrik kembali. Secara sederhana aki merupakan sel yang terdiri dari elektrode positif dan elektrode negatif. Didalam aki terdapat banyak komponen yang menunjang bekerjanya aki. Pada gambar 2.1 divisualisasikan komponen komponen aki dengan 2 komponen utama yaitu elektrolit dan elektroda.



Gambar 2. 1 Struktur pada Aki [5]

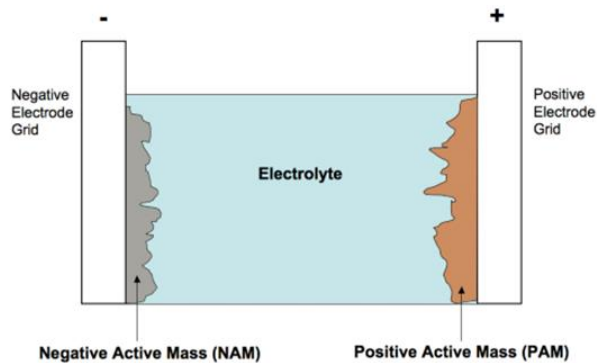
Didalam aki terdapat beberapa pemisah sel. Setiap sel memiliki beda potensial sebesar 2 Volt. Voltase aki yang banyak digunakan adalah 12 Volt dan 6 Volt. Maka dengan beda potensial tiap sel 2 Volt, dibutuhkan 6 sel untuk aki 12 Volt dan 3 sel untuk aki 6 Volt. Elektrolit adalah suatu zat yang larut dan terurai ke dalam bentuk-bentuk ion. Elektrolit yang digunakan di aki adalah asam sulfat (H_2SO_4). Terdapat dua elektroda didalam aki yaitu elektroda positif yaitu timbal dioxide (PbO_2) dan elektroda negative yaitu timbal (Pb).

Diantara dua elektroda terdapat pemisah atau penyekat yang terbuat dari bahan isolator yang memiliki fungsi sebagai pencegah terjadinya arus pendek antar elektroda dan memberikan celah yang baik agar pertukaran ion dan elektroda terjadi dengan baik. Pada proses charge dan discharge aki memproduksi gas. Untuk menanggulangi gas yang diproduksi dan untuk mencegah terjadinya tekanan tinggi didalam aki, terdapat celah kecil yang berfungsi sebagai ventilasi agar gas hasil reaksi dapat keluar. Struktur cell aki dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Struktur Satu Sel Aki [6]

Energi elektrokimia yang disimpan di dalam aki terdapat di massa aktif yang menempel pada plat elektroda positif dan elektroda negatif. Massa aktif pada positif dan negative memiliki komposisi kimia yang berbeda. Untuk visualisasi massa aktif dapat dilihat di gambar 2.3.

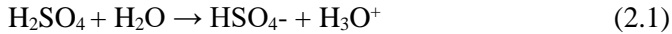


Gambar 2. 3 Visualisasi *Positive Active Mass* (Massa Aktif Positif) dan *Negative Active Mass* (Massa Aktif Negatif) [5]

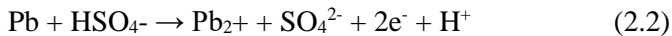
Ketika elektroda positif dan negatif di sambungkan ke sirkuit eksternal massa aktif pada aki akan mengalami reaksi. Elektron berpindah dari satu masa aktif ke massa aktif yang lain. Komposisi kimia pada massa aktif juga berubah. Elektrolit juga berpengaruh pada reaksi tersebut, dengan pergerakan ion yang terjadi diantara massa aktif. Reaksi ini membuat aki menghasilkan energi listrik yang dipicu sirkuit external yang menjadi beban aki selama proses discharge. Dan aki akan menerima dan menyimpan energi listrik jika terjadi proses charge.

Reaksi kimia yang terjadi saat discharge adalah sebagai berikut: [5]

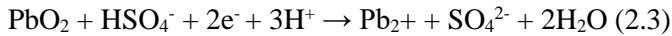
Reaksi pada elektrolit:



Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :

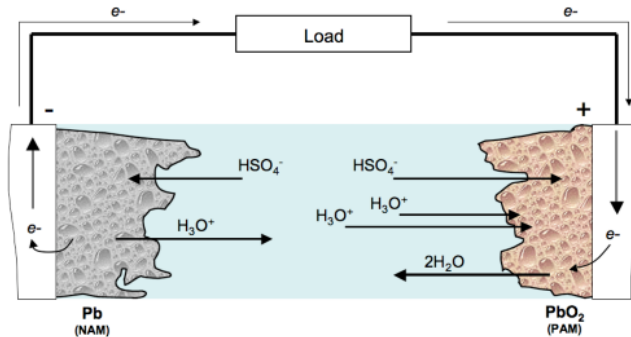


Reaksi keseluruhan :



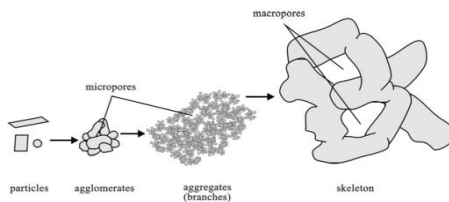
Reaksi pada persamaan 2.1 menunjukkan reaksi yang terjadi pada elektrolit cairan asam sulfat dan air selama aki dipakai. Air mampu memecah ion H^+ pada elektrolit, yang kemudian berubah menjadi H_3O^+ atau hidronium. Hidronium ini akan berfungsi sebagai pembawa ion H^+ , yang terbentuk pada reaksi saat charge maupun discharge aki. Reaksi ini juga muncul pada reaksi yang terjadi di elektroda negatif (persamaan 2.2). Timbal murni bereaksi dengan ion asam sulfat yang kemudian membentuk timbal sulfat (PbSO_4). Massa aktif negatif melepaskan elektron, dan bergerak melalui elektroda negatif, sambungan eksternal, lalu tiba di elektroda positif setelah itu elektron ini akan bereaksi dengan massa aktif positif dan elektrolit. Pada persamaan 2.3, massa aktif positif kombinasi dengan ion sulfat membentuk HSO_4^- , dan ion hidrogen yang berasal dari H_3O^+ dan elektron yang kemudian membentuk PbSO_4 dan air. Seluruh proses ini berawal dari reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda, Reaksi tersebut memicu perpindahan elektron, yang kemudian akan menghasilkan pengendapan timbal sulfat (PbSO_4). Visualisasi reaksi digambarkan pada gambar 2.4. Dimana reaksi yang terjadi adalah reaksi pada saat discharge. Terbentuknya PbSO_4 dikarenakan Pb

dan PbO bereaksi dengan H_2SO_4 pada larutan elektrolit seperti yang dijelaskan pada persamaan 2.1.



Gambar 2. 4 Diagram Reaksi pada Saat *Discharge* [5]

Reaksi dan pereaksi harus ada pada permukaan massa aktif agar arus listrik dapat mengalir, hal ini sangat penting untuk diperhatikan dalam memahami sistem kerja dari aki. Kehadiran dari struktur morfologi dan kelekatan masa aktif kepada plat elektroda juga memiliki peran yang besar dalam perilaku elektrik aki. Massa aktif tidak hanya lapisan tipis yang melapisi plat elektroda, namun memiliki struktur yang lebih kompleks. Strukturnya memiliki poro dan ketebalan yang didesain oleh perusahaan manufaktur dengan komposisi yang tepat untuk produksi aki. Menambah ketebalan pada massa aktif ini akan menambah kapasitas dan *cycle-life* dari aki itu sendiri. Gambar 2.5 Menunjukan struktur mikroskopis massa aktif.

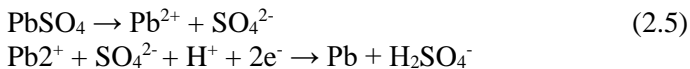


Gambar 2. 5 Struktur Mikroskopis Massa Aktif [6]

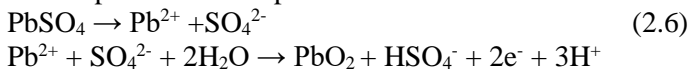
Struktur dari massa aktif akan sangat mempengaruhi tingkat kapasitas dan daya tahan dari aki. Penambahan beberapa zat pada pasta timbal murni dan pasta timbal dioxida dapat meningkatkan daya hantar listrik dari massa aktif, serta meningkatkan performa *charge* dan *discharge* aki. Kapasitas dan daya tahan aki sangat dipengaruhi oleh proses *discharge* aki. Tingkat arus listrik dari discharge aki mempengaruhi perilaku massa. Tingginya arus discharge dapat menurunkan laju difusi dari HSO_4^- . Hal ini menyebabkan meningkatnya reaksi yang terjadi pada permukaan, dimana massa aktif kontak secara langsung dengan sejumlah besar elektrolit.

Tidak seperti pada kondisi *discharge*, pada kondisi *charge* aki terdapat reaksi primer dan reaksi sekunder. Reaksi sekunder ini menggunakan sebagian besar arus yang didapatkan dari sumber, sementara tidak banyak berkontribusi dalam mengembalikan timbal sulfat menjadi timbal murni, hal ini mengurangi efisiensi dari *charge* aki. Reaksi kimia pada saat *charge* aki dapat dilihat pada persamaan dibawah ini: [5]

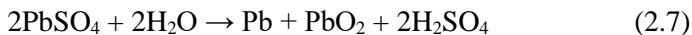
Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :



Reaksi keseluruhan :



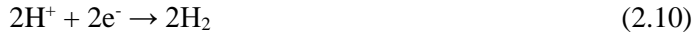
Evolusi oksigen pada elektroda positif :



Kombinasi oksigen pada elektroda negatif :



Evolusi hidrogen pada elektroda negatif :



Reaksi charge ini terjadi pada masa aktif positif dan negatif. Persamaan 2.5 dan 2.6 merupakan kebalikan dari persamaan reaksi yang terjadi pada saat discharge aki (persamaan 2.3 dan 2.2). Dimulai dari penguraian timbal sulfat menjadi ion-ion timbal dan sulfat. Pada masa aktif positif, ion ini bereaksi dengan molekul dari air untuk membentuk timbal oksida dan asam sulfat. Pada saat proses ini terjadi, terbentuk dua elektron yang berpindah menuju massa aktif negatif timbal sulfat, melalui eksternal sirkuit.

2.1.2 Jenis-Jenis Aki

Seiring dengan inovasi dan perkembangan dibidang teknologi, aki juga mengalami perkembangan mulai dari jenis bahan kimia sampai konstruksinya sehingga menghasilkan jenis aki yang bermacam-macam. Penggunaan tipe aki yang berbeda juga mempengaruhi desain.

Berdasarkan besar arus yang dihasilkan, ada dua macam jenis aki, yaitu:

1. Aki starting, merupakan jenis aki yang dirancang mampu menghasilkan energi (arus listrik) yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat menyalakan mesin seperti mesin kendaraan. Dengan kata lain untuk menghidupkan mesin dibutuhkan arus listrik yang tinggi. Setelah mesin hidup, aki istirahat dan diisi kembali oleh alternator.
2. Aki deep cycle, aki ini dirancang untuk menghasilkan energi (arus listrik) yang stabil (tidak sebesar aki starting) namun dalam waktu yang lama. Aki jenis ini tahan terhadap siklus charge-discharge aki yang berulang-ulang, karenanya konstruksinya menggunakan plat yang lebih tebal. Aki ini digunakan pada peralatan yang menggunakan motor listrik seperti

kursi roda, forklift, mobil golf dan pada proyek energi alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya.

Berdasarkan volume elektrolitnya, aki dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Flooded, jenis ini disebut juga wet cell. Aki ini dikenal dengan aki basah, maksudnya sel-sel didalam aki harus terendam cairan elektrolit dan jika level cairannya kurang, harus ditambah. Ciri-cirinya setiap sel ada katup charge cairan elektrolitnya.
2. Valve-regulated lead-acid (VRLA), aki ini disebut juga aki maintenance free. Didesain agar cairan elektrolit tidak berkurang karena bocor atau penguapan. Aki jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka saat tekanan tinggi untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya. Tidak memiliki katup untuk isi ulang cairan elektrolitnya maka dari itu dikenal dengan bebas perawatan. Aki jenis VRLA dibagi menjadi dua berdasarkan konstruksi internalnya. Yang pertama adalah jenis Gel Cells dimana cairan elektrolitnya dicampur dengan pasir silica sehingga cairan menjadi kental seperti agar-agar. Yang kedua adalah Absorbent Glass Mat (AGM) yang memiliki separator dari fiberglass yang diletakan diantara plat-plat selnya yang bertujuan untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori fiberglass.

2.1.3 Senyawa *Lead* yang Terlibat dalam Produksi Aki

- *Lead Oxide* (PbO)

Senyawa ini memiliki dua bentuk *polymorphic*: *tetragonal* (β -PbO) dan *orthorhombic* (α -PbO). *Lead oxide* membentuk *lead hydroxides*, $3\text{PbO} \cdot \text{H}_2\text{O}$, dan $5\text{PbO} \cdot \text{H}_2\text{O}$. *Lead oxide* terhidrasi membentuk $\text{Pb}(\text{OH})_2$. Dalam industry baterai, *lead oxide* yang didapatkan dengan proses *partial thermal oxidation* pada *lead*

disebut *leady oxide* (LO), yang mengandung diantara 73-85% PbO, sisanya adalah *non-oxidized lead*. Unsur utama dari *leady oxide* adalah tet-PbO, sementara kehadiran ort-PbO hanya 5-6%. *Leady oxide* digunakan dalam proses persiapan pasta di proses produksi aki. *Ball mill* merupakan metode yang digunakan untuk membentuk PbO.

- *Lead Sulfate* (PbSO₄)

Pada temperatur ruangan, senyawa ini biasanya orthorhombic, namun dalam suhu yang tinggi akan memiliki bentuk kristal kubik. Tingkat terlarutnya dalam larutan sulfat tergantung pada konsentrasi dari H₂SO₄. Senyawa ini terbentuk saat proses *charge* dan *discharge* pada aki, dan dapat bereaksi dengan PbO untuk membentuk *basic lead sulfat*.

- *Monobasic lead sulfate*, PbO.PbSO₄ (1BS)

Basic lead sulfat ini terbentuk saat proses *mixing* PbO dengan H₂SO₄. *Monobasic lead sulfate* juga terbentuk saat proses perendaman aki dalam periode *formation* pada aki. 1BS mudah terlarut dalam air, namun lebih mudah terlarut dalam larutan H₂SO₄.

- *Tribasic lead sulfate*, 3PbO.PbSO₄.H₂O (3BS)

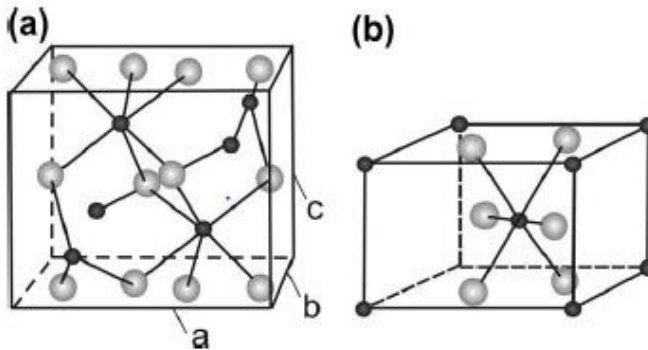
Senyawa ini berbentuk kristal prisma dengan panjang 1-4 µm dan 0.2-0.8 µm melintang dengan *density* 6.5 g cm⁻³. 3BS dibentuk ketika *leady oxide* dicampur dengan larutan asam sulfat (diatas 8 %wt H₂SO₄/PbO) dan temperature dibawah 70°C.

- *Tertabasic lead sulfate*, 4PbO.PbSO₄ (4BS)

Terdiri dari kristal berbentuk prisma dengan panjang 10-100 µm dan diameter 3-15 µm. 4BS terbentuk ketika *leady oxide* dicampur dengan larutan H₂SO₄, H₂SO₄/PbO < 6 %wt, dan pada temperature diatas 75°C. Struktur massa aktif yang terbentuk dari 4BS memiliki *cycle life* yang panjang.

- *Lead dioxide* PbO₂

Memiliki dua struktur *polymorphic*: *orthorhombic* (α - PbO_2) dan *tetragonal* (β - PbO_2). Gambar 2.6 menunjukkan *unit cell* dari α - PbO_2 dan β - PbO_2 .



Gambar 2. 6 Unit cell (a) α - PbO_2 (b) β - PbO_2

Kristal α - PbO_2 memiliki *lattice axes*:

$a = 4.938 \text{ \AA}$; $b = 5.939 \text{ \AA}$; $c = 5.486 \text{ \AA}$

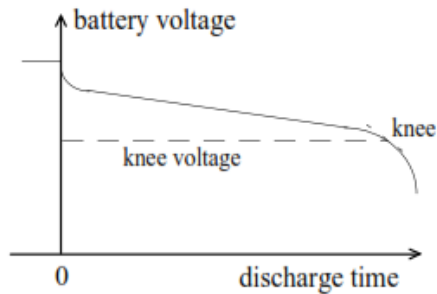
Kristal β - PbO_2 memiliki *lattice axes*:

$a = 4.945 \text{ \AA}$; $b = 3.378 \text{ \AA}$

Proses manufaktur pada plat aki, pada dasarnya merupakan proses oksidasi 3BS atau 4BS dan PbO menjadi α - PbO_2 dan β - PbO_2 .

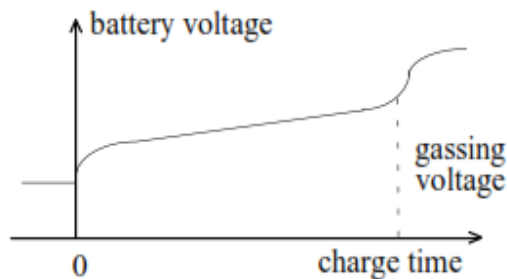
2.1.4 Charging dan Discharging Aki

Dari persamaan reaksi aki yang sudah dibahas sebelumnya, diketahui ketika aki dalam kondisi dipakai kadar asam sulfat didalam aki akan semakin berkurang, beda potensial pada terminalnya pun akan ikut berkurang. Disisi lain, beda potensial pada terminal akan semakin meningkat pada saat kondisi *charge*. Pada gambar 2.7 dapat dilihat profil aki pada saat *discharge* oleh beban dengan arus yang konstan.



Gambar 2. 7 Kurva Beda Potensial pada Aki Berbanding waktu
Discharge [5]

Seperti yang diilustrasikan pada kurva, lompatan awal pada beda potensial menunjukkan adanya impedansi baterai. Lalu, beda potensial akan berkurang secara tetap selama periode *discharge*. Ini menunjukkan penurunan beda potensial pada aki dipengaruhi juga besarnya beban *discharge*. Di akhir masa *discharge*, beda potensial aki akan turun secara drastis, hal ini dikarenakan konsentrasi dari asam sulfat pada elektrolit sudah sangat rendah.

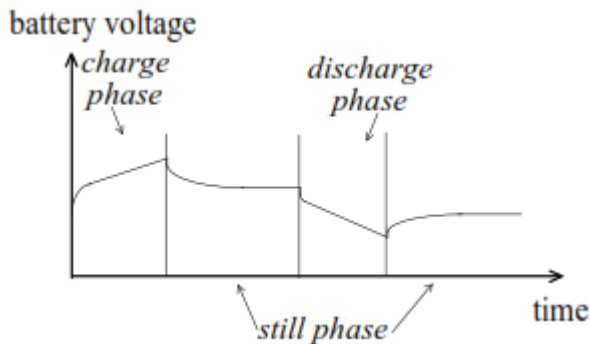


Gambar 2. 8 Kurva Beda Potensial Aki dalam Kondisi *Charge*
dengan Arus Konstan [5]

Ketika dalam kondisi *charge* impedansi yang sama mempengaruhi lompatan beda potensial di awal sambungan

sumber listrik. Sama halnya pada saat kondisi *discharge*, besar arus yang masuk mempengaruhi besar kurva beda potensial. Gambar 2.8 menunjukkan kurva beda potensial dalam kondisi arus konstan pada saat *charge* aki. Dari kurva beda potensial berbanding waktu *charge* ini dapat dilihat adanya hubungan antara beda potensial aki dengan besarnya energi yang dapat disimpan olehnya. Kenaikan beda potensial pada akhir waktu *charge* menunjukkan adanya *gassing*, ini adalah kondisi dimana aki akan melepaskan sejumlah gas sebagai hasil dari elektrolisis air. Aki yang diisi melewati masa ini akan merusak aki itu sendiri.

Ion pada elektrolit bergerak karena adanya difusi, perbedaan konsentrasi antara zat pelarut dengan zat terlarut. Karena difusi ini terjadi dengan lambat maka lompatan beda potensial pada kondisi *discharge* atau *charge* tidak bisa menghilang, kecuali didiamkan dalam jangka waktu tertentu. Gambar 2.9 menunjukkan pemulihan aki setelah terjadi beda potensial berlebih baik dalam kondisi *discharge* maupun *charge*.



Gambar 2. 9 Kurva Beda Potensial dan Waktu yang Dibutuhkan dalam pemulihan Aki [5]

2.1.5 Proses Sintesis Plat Baterai *Lead-Acid*

Pembuatan baterai *lead acid* melalui beberapa tahap antara lain :

2.1.5.1 Pembuatan Pasta

Lead Oxide (LO dikonversikan dari bubuk menjadi pasta agar dapat dioleskan diatas *grid*. LO dicampur dengan bahan aditif lain seperti BaSO_4 , lignosulfonate, serta karbon untuk memperkuat ikatan pasta dengan *grid* serta meningkatkan umur baterai. LO dan bahan aditif dicampur dengan H_2SO_4 untuk membuat tekstur seperti adonan. Banyaknya H_2SO_4 yang digunakan dalam pembuatan pasta akan menentukan viskositas pasta yang dibuat.

Pasta yang berhasil dibuat kemudian diaplikasikan di atas *grid*. *Grid* terbuat dari Pb Alloy. Fungsi *grid* antara lain adalah sebagai penghantar elektron pada pasta serta memberikan kekuatan pada plat.

2.1.5.2 *Curing*

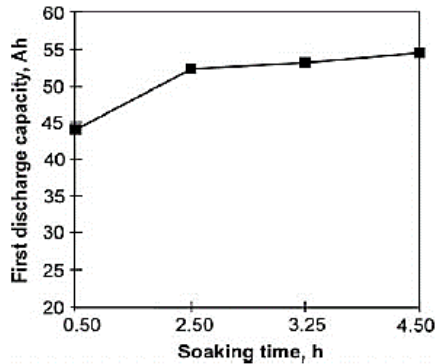
Curing adalah proses pemanasan plat da lam kelembaban tertentu. *Curing* berfungsi untuk membuat pasta menjadi berpori serta membantu pembentukan ikatan antara grid dengan pasta. Dalam proses *curing* partikel pasta saling menyambung untuk membuat sebuah rangka berpori. Rangka yang terbentuk kemudian bergabung

Curing pada umumnya dilakukan didalam *humidity chamber*. Temperatur dan waktu *curing* mempengaruhi hasil dari proses *curing*. Apabila *curing* dilakukan pada temperatur diatas 80°C , kristal 3BS akan berubah menjadi 4BS. Selain itu timbal bebas (Pb) dalam pasta teroksidasi menjadi *lead oxide*.

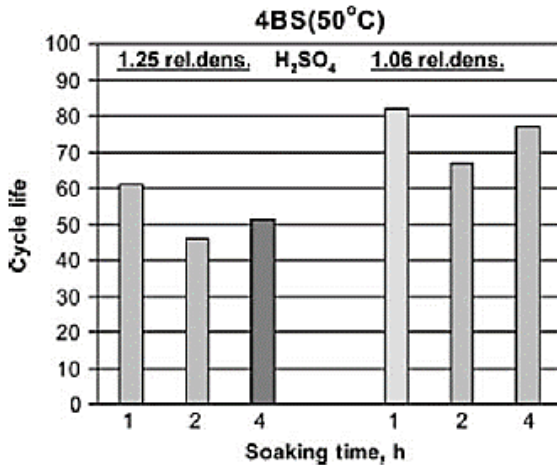
2.1.5.3 *Soaking*

Soaking adalah proses pencelupan plat didalam larutan H_2SO_4 sebelum dilakukan formasi. PbO dan 3BS tidak stabil didalam larutan H_2SO_4 sehingga sulfasi terjadi. Kontrol terhadap konsentrasi larutan serta waktu pencelupan mempengaruhi performa baterai. Pada gambar 2.10 terlihat pengaruh waktu pencelupan terhadap kapasitas *discharge* awal baterai. Kapasitas tertinggi terlihat pada waktu pencelupan 4,5 jam. Pada gambar 2.11

terlihat pengaruh densitas dan lama pencelupan H_2SO_4 terhadap *cycle life* pasta 4BS.



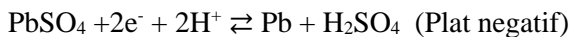
Gambar 2. 10 Pengaruh kapasitas discharge awal baterai terhadap lama pencelupan



Gambar 2. 11 Pengaruh densitas dan lama pencelupan H_2SO_4 terhadap *cycle life* pasta 4BS

2.1.5.4 Forming

Plat yang dihasilkan setelah proses soaking mengandung PbSO_4 . Plat yang mengandung PbSO_4 belum tergolong aktif secara elektrokimia sehingga dibutuhkan proses lanjutan. Untuk membuat plat positif dan plat negatif, kedua plat dialiri arus untuk memindahkan elektron. Plat dicelupkan kedalam H_2SO_4 dan disambungkan dengan sumber listrik. Sumber listrik berfungsi untuk memindahkan elektron dari plat positif menuju ke plat negatif. Reaksi yang terjadi pada saat proses *forming* adalah sebagai berikut:



Parameter yang harus diperhatikan dalam proses *forming* adalah sebagai berikut :

1. **Arus** menentukan laju reaksi elektrokimia yang terjadi. Pada umumnya arus yang digunakan adalah 2-10 mA untuk menghindari temperatur dan voltase berlebih
2. **Temperatur** tidak boleh melebihi 50°C . Apabila temperatur *formation* melebihi 60°C *positive active material* (PAM) akan mengandung lebih banyak $\beta\text{-PbO}_2$ dari $\alpha\text{-PbO}_2$. Walaupun dalam kandungan tersebut kapasitas awal baterai lebih besar namun PAM cenderung lebih mudah terkikis. Temperatur tinggi juga mengurangi kapasitas dari plat negatif karena degradasi *expander*.
3. **Battery Voltage** tidak boleh melebihi 2,60-2,65 V agar tidak terjadi pelepasan gas hidrogen dan oksigen yang berlebih. Pelepasan gas tersebut meningkatkan *energy losses* serta melepaskan emisi berbahaya ke lingkungan.

4. **Kuantitas listrik yang mengalir melalui plat.** Kuantitas listrik yang dibutuhkan dalam proses forming berkisar antara 360 – 530 Ah/kg PbO.
5. **Konsentrasi H_2SO_4 .** Konsentrasi H_2SO_4 akan mempengaruhi struktur dan komposisi dari material aktif plat. [6]

2.1.6 BET Specific surface area Measurement



Gambar 2. 12 Alat Uji BET

Teknik Brauner, Emmet, and Teller (BET) adalah teknik paling umum yang digunakan untuk mengukur *Specific surface area* suatu benda padat dan bubuk. Teknik ini menggunakan cara mengekspos benda padat ke suatu gas atau uap pada kondisi yang bervariasi dan mengukur kenaikan berat atau volume sampel. Gas nitrogen umumnya digunakan sebagai molekul probe dan diekspos ke benda padat pada kondisi nitrogen cair. *Specific surface area* benda padat yang diukur didapatkan dari *measured monolayer capacity* dan data *cross sectional area* dari molekul yang dijadikan probe. Dalam hal ini nitrogen dimana *cross sectional area* diambil

$16.2\text{\AA}^2/\text{molekul}$. [7] Contoh alat BET dapat dilihat pada gambar 2.12.

BET adalah teknik yang keseluruhan dari prosesnya dilakukan otomatis. Data sampel yang diuji akan otomatis didapatkan pada komputer yang terhubung dengan *BET Analyzer* berupa grafik dan tabel data isotherm, grafik dan tabel data *Multiple BET plot*, grafik dan tabel data *pore diameter* dan luas *Specific surface area*.

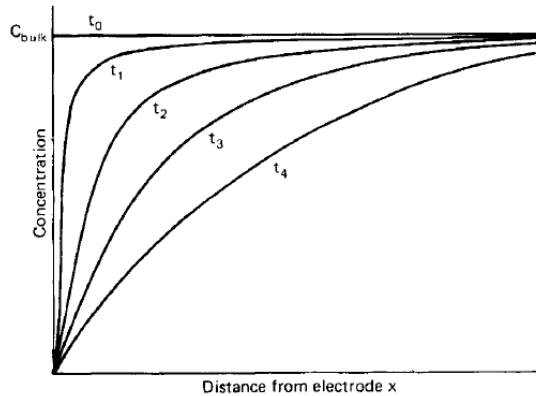
2.1.7 Teknik Elektroanalisis

Banyak teknik elektroanalisis yang dapat digunakan untuk menentukan parameter elektrokimia dan membantu peningkatan performa baterai yang sudah ada ataupun baterai yang masih dalam tahap penelitian. Beberapa teknik elektroanalisis akan dijelaskan dalam bagian ini.

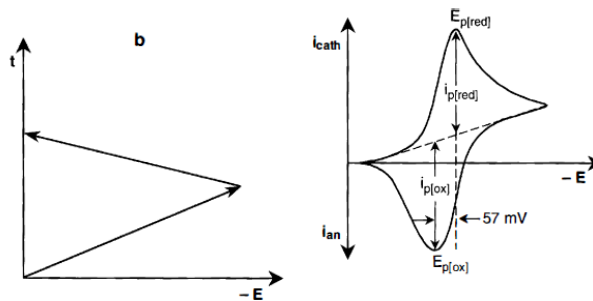
2.1.7.1 Cyclic Voltammetry

Teknik elektroanalisis menggunakan *Cyclic Voltammetry* pada dasarnya adalah teknik elektroanalisis dengan memberikan voltase yang berubah-ubah secara linear (*ramp voltage*) pada sebuah elektroda. Voltase yang diteliti (*Voltage Scan*) pada umumnya berkisar $\pm 2\text{V}$ dari potensial elektroda ketika tidak diberi arus (potensial jeda) sehingga reaksi pada elektroda dapat diteliti dengan baik.

Selagi voltase yang diberikan mendekati potensial reversibel, arus mengalir yang besarnya meningkat secara parabolik namun kemudian berhenti pada potensial tertentu dikarenakan berkurangnya reaktan. Berkurangnya reaktan ini disebabkan oleh reaksi yang berlangsung di permukaan elektroda. Profil konsentrasi reaktan yang tersebar kedalam larutan seperti ditunjukkan pada gambar 2.13 Ketika konsentrasi reaktan berkurang didalam larutan, laju transpor difusi pada permukaan elektroda berkurang, dan bersamaan dengan itu arus juga berkurang. Oleh karena itu arus nampak seperti memiliki sebuah titik maksimum tertentu seperti terlihat pada gambar 2.14.

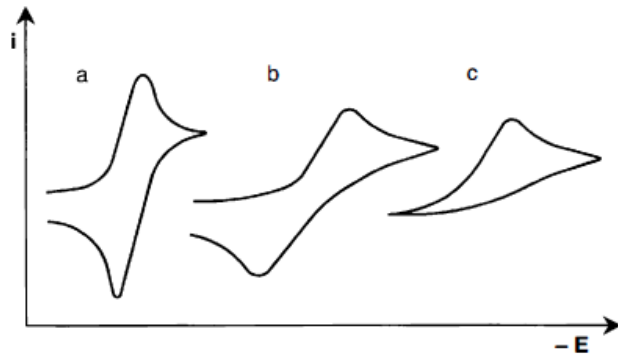


Gambar 2. 13 Profil konsentrasi untuk reduksi sebuah spesies pada cyclic voltammetry (Linden, D., Reddy, T.B. 2001)



Gambar 2. 14 (kiri) perubahan voltase terhadap waktu dalam cyclic voltammetry dan (kanan) kurva yang dihasilkan cyclic voltammetry (Linden, D., Reddy, T.B. 2001)

Cyclic voltammetry memberikan informasi kualitatif dan kuantitatif mengenai karakter redox elektroda. Berdasarkan karakteristik daripada grafik yang didapatkan dari pengujian maka dapat ditentukan apakah reaksi reduksi yang terjadi *reversible*, *quasi reversible*, atau *irreversible* seperti ditunjukkan pada gambar 2.15.



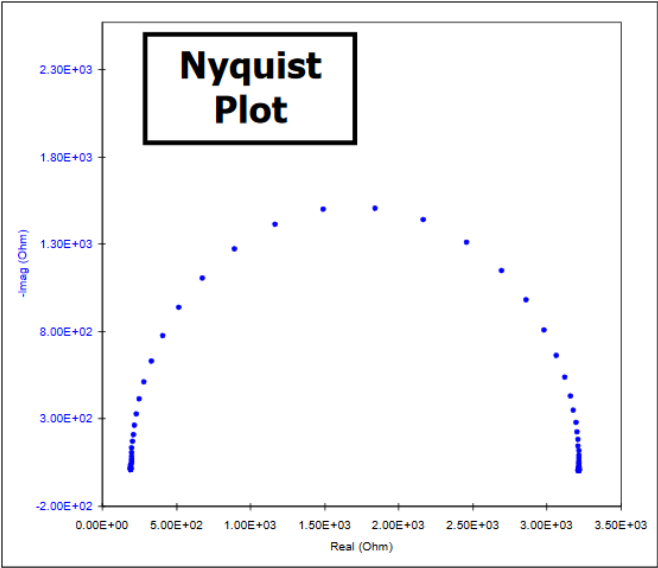
Gambar 2. 15 Perbandingan antara plot reaksi elektrokimia (a) reversibel (b) semi-reversibel (c) irreversibel dalam pengujian cyclic voltammetry

2.1.7.2 Metode Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Electrochemical Impedance Spectroscopy adalah teknik analisis baterai menggunakan arus *alternating current* (AC) untuk menemukan impedansi pada elektroda. Dengan mengetahui impedansi dari elektroda maka mekanisme reaksi elektrokimia dapat diketahui.

Impedansi adalah kemampuan rangkaian untuk memberikan tahanan terhadap arus listrik. Berbeda dengan resistansi, impedansi tidak mengikuti asumsi : hukum ohm dapat diterapkan pada setiap potensial dan arus; harga tahanan tidak tergantung pada frekuensi, Arus dan potensial AC melalui resistor berada pada fasa yang sama.


Data EIS pada umumnya disajikan dalam plot *nyquist* seperti ditunjukkan pada gambar 2.16 Plot *nyquist* membandingkan komponen riil dengan komponen nyata daripada impedansi pada *range* frekuensi tertentu.

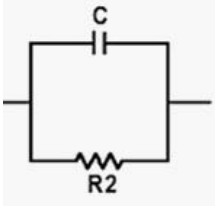




Gambar 2. 16 Ilustrasi nyquist plot

Untuk menganalisis plot *nyquist* yang telah didapat pada pengujian elektroda, digunakan teknik *equivalent circuit modelling*. *Equivalent circuit modelling* adalah analisis plot nyquist dengan membuat model *electrical circuit* yang dapat menghasilkan plot yang hampir sama dengan plot hasil pengujian. Tabel 2.1 adalah fenomena yang mempengaruhi laju reaksi elektrokimia beserta *Equivalent Circuit Model*-nya.

Tabel 2. 1 Tabel Index Equivalent Circuit Model

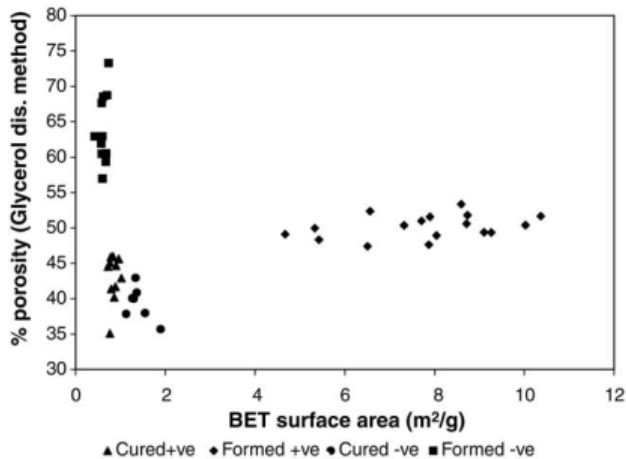
Fenomena	<i>Equivalent Circuit Model</i>	Total impedansi
Tahanan pada an elektrolit	 R	$Z = R_{\Omega}$

Reaksi Elektrokimia		$Z = 1/(1/R_1 + j\omega C)$
Blocking Electrode or Pure Capacitive Coating		$Z = R + 1/j\omega C$
Mass transport		$Z = \frac{\sigma_i}{\sqrt{\omega}}(1 - j)$

2.2 Penelitian Terdahulu

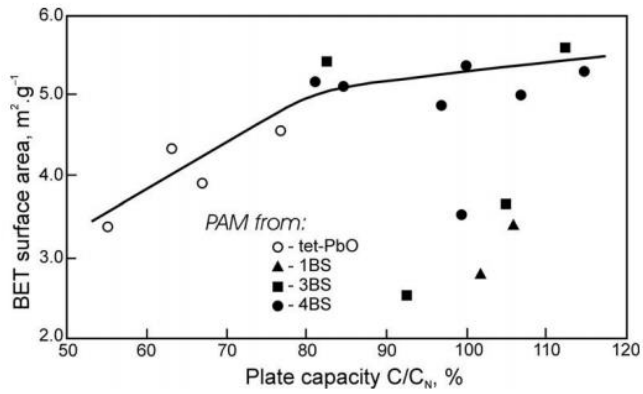
Penelitian terdahulu yang membahas tentang porositas pada plat elektroda *lead-acid battery* adalah penelitian yang dilakukan oleh E.E. Ferg, P. Loyson dan N. Rust di Department of Chemistry, P.E. Technikon pada tahun 2005 dengan judul “*Porosity measurement of electrodes in lead acid battery*”. Menurut penelitian tersebut elektroda yang memiliki porositas tinggi dan distribusi volume pori-pori yang besar akan memberikan hasil yang baik selama penggunaan *high power discharge*. Namun jika porositasnya terlalu besar maka *life cycle* dari elektroda akan berkurang dikarenakan berkurangnya kepadatan dari struktur material aktif yang akan mengakibatkan buruknya adhesi antara partikel, yang akan mengakibatkan peluruhan. Rata-rata porositas pada *cured* dan *formed* massa aktif berkisar diantara 40% sampai 60% tergantung pada prosedur pembuatannya dan aplikasinya. Bisa dilihat pada gambar 2.17 volume porositas bisa berubah ubah tanpa diikuti oleh perubahan yang besar pada *Specific surface area*.

Begitu juga pada perubahan *Specific surface area* tidak diikuti oleh perubahan volume porositas yang besar. Maka dari itu dapat disimpulkan performa kapasitas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan *Specific surface area* namun tanpa menambah persen volume porositas.



Gambar 2. 17 Sebaran % vol Porosity vs BET *Specific surface area* [3]

Penelitian lain yang membahas tentang pengaruh *Specific surface area* terhadap kapasitas plat elektroda adalah penelitian yang dilakukan Detchko Pavlov dalam bukunya “*Lead acid batteries science and technology*” pada tahun 2011. Pada penelitian tersebut disebutkan bahwa pada plat elektroda kapasitas umumnya cenderung bertambah dengan bertambahnya BET *Specific surface area*. Walaupun BET *Specific surface area* bukan satu-satunya parameter yang memengaruhi kapasitas plat. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Grafik BET *Specific surface area* vs kapasitas plat [6]

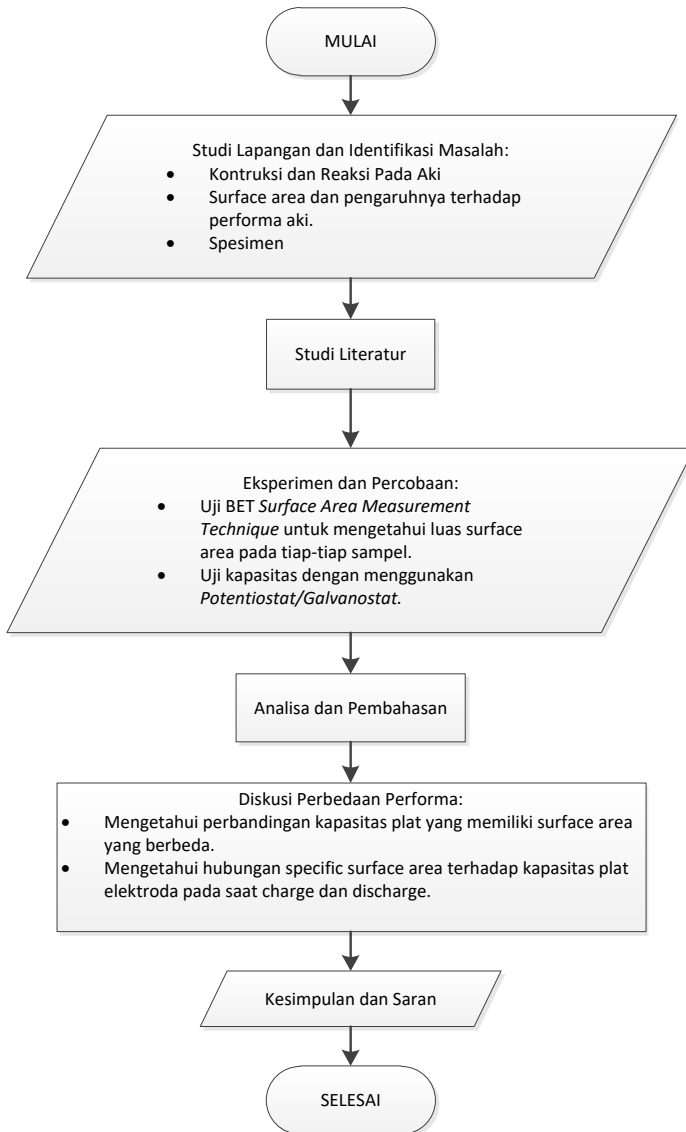
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan langkah-langkah yang dijadikan acuan dalam penelitian ini. Diawali dengan studi lapangan terkait aki dan permasalahannya. Lalu studi literatur terkait penelitian, kemudian melakukan percobaan. Setelah melakukan percobaan, data dianalisis dan mendiskusikannya, kemudian dapat ditarik kesimpulan serta saran dari hasil penelitian ini seperti flowchart pada gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi Literatur digunakan sebagai ulasan terhadap buku dan jurnal yang memberikan informasi terkait Pengaruh *Specific surface area* massa aktif terhadap kapasitas massa aktif plat aki pada proses *charge* dan *discharge*. Literatur utama yang dijadikan pedoman penulis berasal dari jurnal-jurnal penelitian sejenis beserta buku-buku referensi terkait dengan penelitian ini. Pada tahap ini akan didapatkan referensi literatur sebagai pendukung pemecahan permasalahan yang akan dianalisis.

3.3 Melakukan Percobaan

Bahan penelitian ini terdiri dari plat negative dan positif standar untuk baterai *lead acid* yang didapatkan dari dua produsen yang berbeda. Semua pengambilan data penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Elektrokimia ITS.

3.3.1 Pengujian *Specific surface area Measurement*



Gambar 3. 2 *BET Specific surface area Analyzer*

Untuk mengetahui *Specific surface area* dari massa aktif plat elektroda maka dilakukan pengujian *BET Specific surface area Measurement*. Pengujian BET dilakukan di Laboratorium

Elektrokimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Gambar peralatan uji BET ditunjukkan pada gambar 3.2.

Berikut tahapan pengujian BET:

1. Massa aktif dari plat dirontokan dari plat dan dihancurkan menjadi serbuk.
2. Serbuk massa aktif dimasukan ke sample cell.
3. Timbang berat massa aktif.
4. Masukan sample cell ke *degaser*.
5. Lakukan proses *degassing* untuk menghilangkan zat-zat yang mungkin mengkontaminasi specimen. Dengan melakukan hal ini maka pengukuran *Specific surface area* akan menjadi lebih akurat karena *Specific surface area* yang terdeteksi hanya *Specific surface area* specimen yang kita uji, suhu dinaikan secara bertahap yaitu 80°C selama 5 menit, 120°C selama 5 menit, 200°C selama 5 menit, 270°C selama 5 menit dan 300°C selama 3 jam.
6. Keluarkan sample cell.
7. Pasang sample cell pada BET *analyzer*.
8. Pasang pendingin pada BET *analyzer* untuk mendinginkan sampel karena ketika gas inert digunakan gas tersebut akan lebih susah mengalami absorpsi dalam temperature ruangan.
9. Mulai BET *analyzer* melalui komputer dan biarkan sampai pengambilan data selesai.
10. Ambil data spesimen pada komputer.

3.3.2 Pengujian Elektroanalisis Menggunakan Potentiostat/Galvanostat

Untuk mengetahui kapasitas dari plat elektroda *lead acid* yang diuji. Dilakukan pengujian Potentiostat/Galvanostat. Pengujian Potentiostat/Galvanostat dilakukan di Laboratorium Elektrokimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Gambar peralatan Potentiostat/Galvanostat ditunjukkan pada gambar 3.3.

Tes yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar muatan yang bisa diserap dan dikeluarkan lagi oleh minicell yang diuji maka dilakukan tes *cyclic voltammetry potetiostatic* dan *chrono charge discharge galvanostatic* menggunakan elektroda counter Plat negative komersial GS (Pb) dan elektrolit H_2SO_4 dengan RD 1,28. Dengan menggunakan setup 2 elektroda. Langkah-langkah detail dari pengujian dijelaskan pada lampiran.



Gambar 3. 3 Alat Potentiostat/Galvanostat

3.4 Analisis Data dan Pembahasan

Tahap ini dilakukan penulis untuk menganalisis semua data yang didapatkan. Berdasarkan data-data tersebut kemudian diberikan pembahasan yang mendukung terkait tujuan penelitian.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir ini. Setelah permasalahan dianalisis, maka akan dapat menjelaskan fenomena pengaruh additive carbon terhadap usia pakai baterai *lead acid* serta perbandingan penggunaan active carbon dengan acetylene. Berdasarkan data tersebut akan diperoleh solusi yang paling baik dan bisa dijadikan sebagai kesimpulan dari penelitian ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai perbandingan kapasitas dan *specific surface area* dari spesimen yang diuji. Analisis dilakukan dengan mengacu data yang didapat dari hasil uji menggunakan Potentiostat/Galvanostat untuk data kapasitas dan uji BET untuk *specific surface area*. Setelah itu dilakukan pembahasan mengenai hubungan antara *specific surface area* dan kapasitas dari massa aktif plat positif lead-acid battery dan menarik kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan.

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Kapasitas Menggunakan Potentiostat/Galvanostat

Umumnya kapasitas dari baterai adalah besar charge yang tersedia dalam satuan ampere-jam (Ah). Ampere adalah satuan untuk mengukur arus listrik. Kapasitas dari cell dapat diukur dengan cara men-discharge dengan arus konstan sampai voltase cell mencapai terminal voltage yang biasanya sebesar 1.75 volt. Hal ini biasanya dilakukan pada temperature konstan, dibawah kondisi standar 25°C. kapasitas dihitung dengan cara mengalikan arus discharge yang diberikan dengan waktu yang diperlukan untuk mencapai terminal voltage. [8] Namun pada pengujian ini terminal voltage sangat cepat tercapai dan masih dalam range impedansi sehingga mempersulit perhitungan kapasitas dikarenakan waktu yang tercatat sangat cepat. Maka dari itu terminal voltage yang dipakai pada pengujian ini sebesar 1.5 volt untuk mempermudah perhitungan kapasitas yang berikutnya akan disebut voltase cut-off. Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bentuk fisik spesimen plat positif.



Gambar 4. 1 Spesimen Plat Produsen 1 Sebelum Dipotong



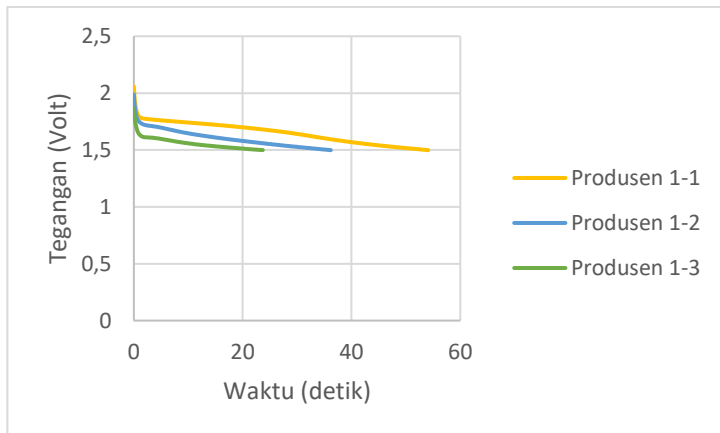
Gambar 4. 2 Spesimen Plat Produsen 2 Sebelum Dipotong

Pengujian dilakukan dengan 3 spesimen dari masing-masing plat postif Produsen 1 dan plat positif Produsen 2 dengan ukuran 1.5 cm x 0.5 cm yang telah dilakukan *conditioning cycle* sebanyak 10 cycle. Spesimen diuji menggunakan prosedur *chrono charge discharge galvanostatic* dengan set-up 2 elektroda dengan

elektroda counter plat negatif Produsen 1 dengan ukuran 1.5 cm x 0.5 cm (Pb) dan menggunakan elektrolit H_2SO_4 20% yang diganti setiap spesimen diganti.

4.1.1.1 Data Discharge Curve Produsen 1-1, Produsen 1-2 dan Produsen 1-3

Pada pengujian ini arus discharge yang digunakan sebesar 0.5 A. Spesimen berukuran 1.5 cm x 0.5 cm atau dengan luas permukaan 0.75 cm dengan counter electrode plat negatif Pb komersil Produsen 1. Sebelum didischarge untuk diuji plat discharge 0.5 A selama 60 detik untuk memastikan tidak ada PbSO_4 yang masih tersisa pada plat dan dipastikan voltase OCP sebesar 2.1 volt yang ditampilkan pada layar potentiostat. Voltase cut-off disetting pada 1.5 V dengan keputusan cut-off diambil setelah 4 titik. Lalu data voltase dibanding waktu ditampilkan di PC. Hasil pengujian discharge ditujukan pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan discharge curve spesimen Produsen 1

Data yang didapat adalah grafik voltase terhadap waktu. Waktu yang didapatkan dalam satuan detik. Ketiga kurva discharge yang didapat seragam dan memiliki trendline menurun yang relatif

linear. Ketiga kurva discharge memiliki penurunan voltase yang sangat cepat diawal lalu diikuti dengan penurunan voltase yang lebih landai setelahnya. Batas pengambilan data dihentikan dengan batas voltase sudah mencapai 1.5 volt. Setelah prosedur dijalankan data yang didapat dari full charge sampai voltase mencapai 1.5 volt waktu yang didapatkan adalah untuk Produsen 1-1 54,1 detik, Produsen 1-2 36,2 detik dan Produsen 1-3 23,7 detik. Terdapat variasi dari tiga data yang didapat. Dari ketiga spesimen yang diuji spesimen Produsen 1-1 menunjukkan waktu discharge paling lama dengan lama discharge 54,1 detik dan Produsen 1-3 yang paling cepat dengan waktu 23,7 detik.

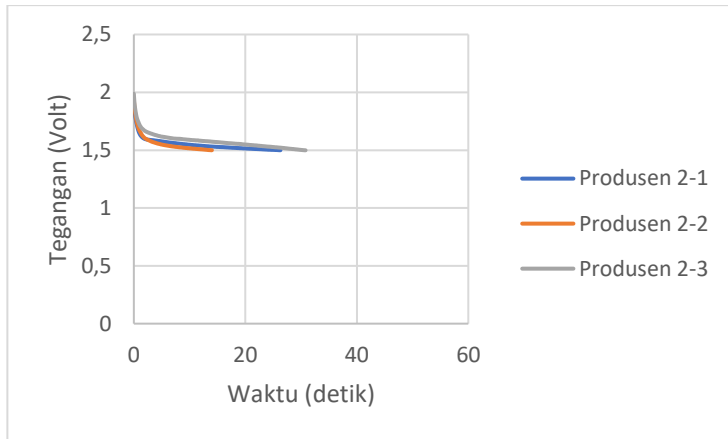
Kurva discharge lead-acid battery adalah grafik yang menunjukkan sifat voltase dari aki ketika mengalami discharge dengan arus konstan. Kurva discharge pada umumnya akan mengalami penurunan voltase secara drastis pada awal discharge dan melandai setelahnya. Hal ini dikarenakan adanya impedansi dari baterai. Pada akhir batas plat tidak bisa terdischarge akan terjadi knee yaitu voltase akan turun secara drastic dikarenakan sangat rendahnya konsentrasi dari asam sulfat pada elektrolit. Grafik kurva discharge dapat dilihat pada gambar 2.7.

Pada data yang didapat dari plat positif Produsen 1 ketiga kurva discharge sudah sesuai dengan teori namun proses discharge tidak ditujukan untuk mencapai knee voltage. Beberapa faktor yang mungkin memengaruhi adanya variasi pada data diantaranya adalah noise dari alat, orientasi plat, kontak antara grid plat dan penjepit penghantar listrik dan getaran yang mengganggu sistem.

4.1.1.2 Data Spesimen Discharge Curve Produsen 2-1, Produsen 2-2 dan Produsen 2-3

Pada pengujian ini arus discharge yang digunakan sebesar 0.5 A. Spesimen berukuran 1.5 cm x 0.5 cm atau dengan luas permukaan 0.75 cm dengan counter electrode plat negatif Pb komersil Produsen 1. Sebelum didischarge untuk diuji plat discharge 0.5 A selama 60 detik untuk memastikan tidak ada PbSO_4

yang masih tersisa pada plat dan dipastikan voltase OCP sebesar 2.1 volt yang ditampilkan pada layar potentiostat. Voltase cut-off disetting pada 1.5 V dengan keputusan cut-off diambil setelah 4 titik. Lalu data voltase dibanding waktu ditampilkan di PC. Hasil pengujian discharge ditujukan pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan discharge curve spesimen Produsen 2

Data yang didapat adalah grafik voltase terhadap waktu. Waktu yang didapatkan dalam satuan detik. Ketiga kurva discharge yang didapat seragam dan memiliki trendline menurun yang relatif linear. Ketiga kurva discharge memiliki penurunan voltase yang sangat cepat diawal lalu diikuti dengan penurunan voltase yang lebih landai setelahnya. Batas pengambilan data dihentikan dengan batas voltase sudah mencapai 1.5 volt. Setelah prosedur dijalankan data yang didapat dari full charge sampai voltase mencapai 1.5 volt waktu yang didapatkan adalah untuk Produsen 2-1 26,3 detik, Produsen 2-2 14 detik dan Produsen 2-3 30,8 detik. Terdapat variasi dari tiga data yang didapat. Dari ketiga spesimen yang diuji spesimen Produsen 2-3 menunjukkan waktu discharge paling lama

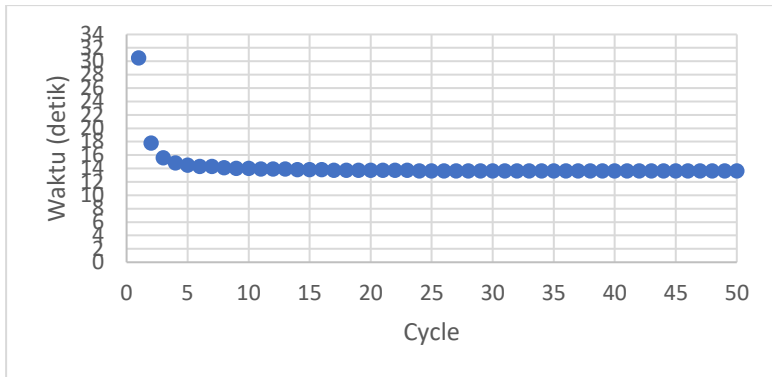
dengan lama discharge 30,8 detik dan Produsen 2-2 yang paling cepat dengan waktu 14 detik.

Kurva discharge lead-acid battery adalah grafik yang menunjukkan sifat voltase dari aki ketika mengalami discharge dengan arus konstan. Kurva discharge pada umumnya akan mengalami penurunan voltase secara drastis pada awal discharge dan melandai setelahnya. Hal ini dikarenakan adanya impedansi dari baterai. Pada akhir batas plat tidak bisa terdischarge akan terjadi knee yaitu voltase akan turun secara drastic dikarenakan sangat rendahnya konsentrasi dari asam sulfat pada elektrolit. Grafik kurva discharge dapat dilihat pada gambar 2.7.

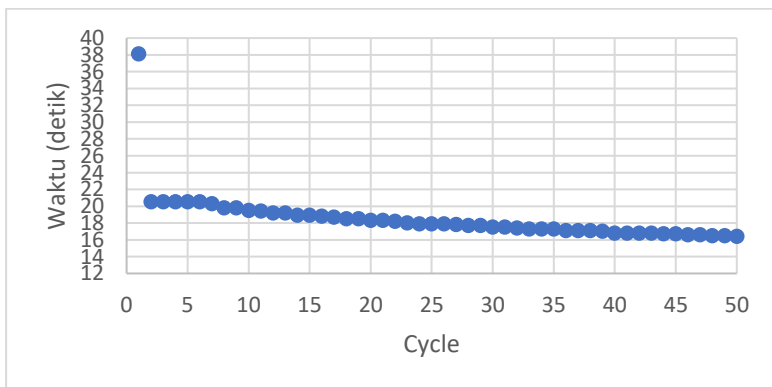
Pada data yang didapat dari plat positif Produsen 2 ketiga kurva discharge sudah sesuai dengan teori namun proses discharge tidak ditujukan untuk mencapai knee voltage. Beberapa faktor yang mungkin memengaruhi adanya variasi pada data diantaranya adalah noise dari alat, orientasi plat, kontak antara grid plat dan penjepit penghantar listrik dan getaran yang mengganggu sistem.

4.1.1.3 Data Waktu Discharge Spesimen Produsen 1 Uji 50 Cycle

Pada pengujian ini arus charge dan discharge yang digunakan sebesar 0.2 A dan dilakukan cycle sebanyak 50 kali. Spesimen berukuran 1.5 cm x 0.5 cm atau dengan luas permukaan 0.75 cm dengan counter electrode plat negatif Pb komersil Produsen 1. Charge dilakukan selama 60 detik, 60 detik diambil dari perhitungan kapasitas per grid teoritis yang didapat yaitu 2,97 mAh dibagi arus yang diberikan yaitu 0,2 A. Voltase cut-off discharge disetting pada 1.75 V dengan keputusan cut-off diambil setelah 2 titik. Lalu data voltase dibanding waktu ditampilkan di PC dan diambil waktu terakhir pada tiap cycle discharge. Hasil pengujian discharge ditujukan pada gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4. 5 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 1
Produsen 1

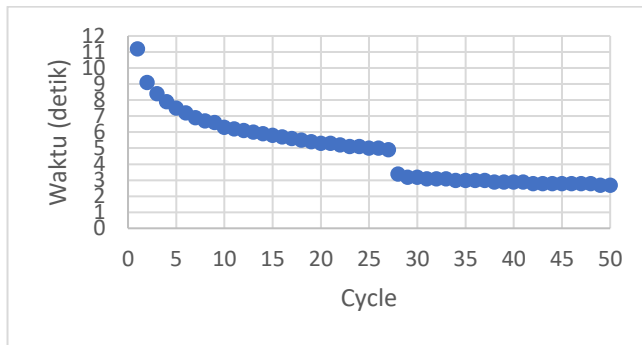


Gambar 4. 6 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 1
Produsen 1

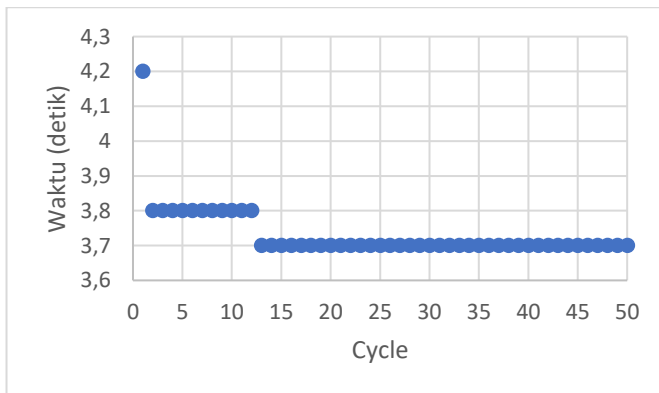
4.1.1.4 Data Waktu Discharge Spesimen Produsen 2 Uji 50 Cycle

Pada pengujian ini arus charge dan discharge yang digunakan sebesar 0.2 A dan dilakukan cycle sebanyak 50 kali. Spesimen berukuran 1.5 cm x 0.5 cm atau dengan luas permukaan 0.75 cm dengan counter electrode plat negatif Pb komersil

Produsen 1. Charge dilakukan selama 60 detik, 60 detik diambil dari perhitungan kapasitas per grid teoritis yang didapat yaitu 2,96 mAh dibagi arus yang diberikan yaitu 0,2 A. Voltase cut-off discharge disetting pada 1.75 V dengan keputusan cut-off diambil setelah 2 titik. Lalu data voltase dibanding waktu ditampilkan di PC dan diambil waktu terakhir pada tiap cycle discharge. Hasil pengujian discharge ditunjukkan pada gambar 4.7 dan 4.8.



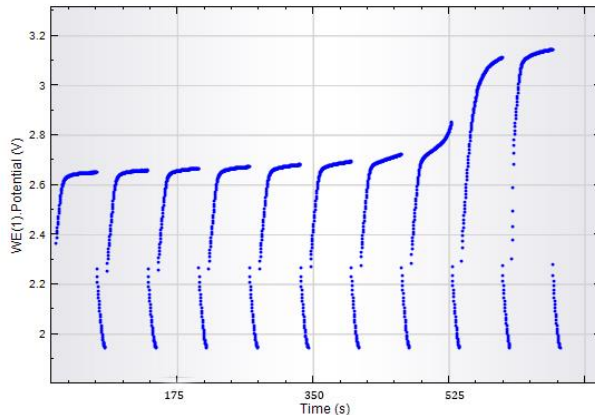
Gambar 4. 7 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 1
Produsen 2



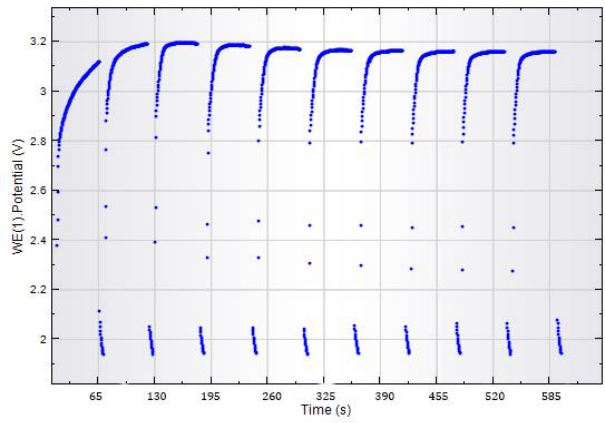
Gambar 4. 8 Data Waktu Discharge Tiap Cycle Spesimen 2
Produsen 2

4.1.1.5 Data Pengujian Dengan Voltase Cut-off 1.95 Volt

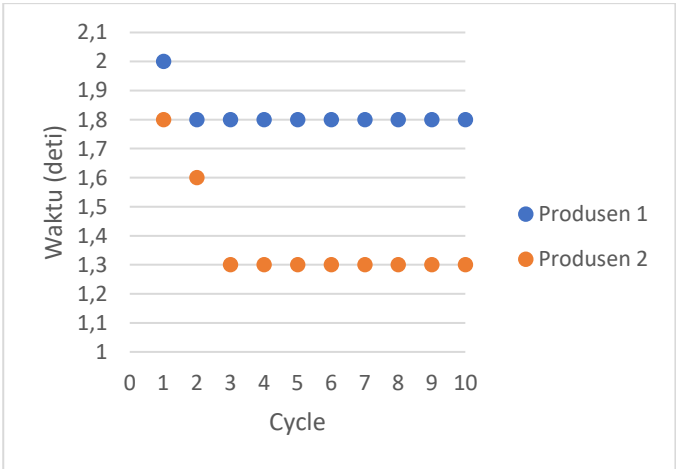
Pada pengujian ini arus charge dan discharge yang digunakan sebesar 0.2 A dan dilakukan cycle sebanyak 10 kali. Spesimen berukuran 1.5 cm x 0.5 cm atau dengan luas permukaan 0.75 cm dengan counter electrode plat negatif Pb komersil Produsen 1. Charge dilakukan selama 60 detik, 60 detik diambil dari perhitungan kapasitas per grid teoritis yang didapat yaitu 2,96 mAh dibagi arus yang diberikan yaitu 0,2 A. Voltase cut-off discharge disetting pada 1.95 V dengan keputusan cut-off diambil setelah 2 titik. Lalu data voltase dibanding waktu ditampilkan di PC dan diambil waktu terakhir pada tiap cycle discharge. Hasil pengujian discharge ditunjukkan pada gambar 4.9, 4.10 dan 4.11..



Gambar 4. 9 Grafik 10 cycle dengan cut-off voltage 1.95 V
Produsen 1



Gambar 4. 10 Grafik 10 cycle dengan cut-off voltage 1.95 V
Produsen 2



Gambar 4. 11 Grafik waktu discharge pengujian dengan cut-off voltage 1.95 selama 10 cycle

4.1.2 Data Hasil Pengujian BET Surface Area

4.1.2.1 Data Pengujian BET Surface Area Massa Aktif Plat Produsen 1

Pada pengujian BET Surface Area ini sampel yang diuji dibuat menjadi serbuk agar bisa dimasukkan kedalam sample cell BET Surface Area Analyzer. Prosedur analisis yang dilakukan adalah prosedur analisis yang sudah ditetapkan di laboratorium Elektro Kimia ITS . Sampel yang diuji bermassa 0.1079 gram dengan prosedur degas dengan waktu 3 jam dengan suhu 300°C dan menggunakan gas analisis nitrogen. Metode pengukuran surface area yang digunakan adalah single point BET. Didapatkan hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Tabel hasil pengujian BET massa aktif plat Produsen 1

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction for NOVA instruments ©1994-2007, Quantachrome Instruments version 10.01				
Analysis		Report		
Operator:ITS		Operator:ITS		Date:7/11/2017
Sample ID: Irvan		Filename: C:\a\data\Physisorb\17071001 PbO GS.xls		
Sample Desc: Serbuk		Comment: 10 Juli 2017		
Sample weight: 0.1079 g		Sample Volume: 0.149286 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs		Outgas Temp: 300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen		Bath Temp: 77.3 K		
Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)		Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 120/120 sec (ads/des)	
Analysis Time: 72.1 min		End of run: 2017/07/11 1:07:38	Instrument: Nova Station A	
Cell ID: 35				
Adsorbate	Nitrogen	Temperature 77.350 K		
Molec. Wt.: 28.013 g		Cross Section: 16.200 Å ²	Liquid Density: 0.808 g/cc	
Relative Pressure	Volume @ STP	1 / [W((P/Po) - 1)]	Slope	Surf. Area
P/Po	cc/g			m²/g
3.00785e-01	1.1776	2.9224e+02	971.6687	3.5841

Didapatkan bahwa massa aktif dari plat Produsen 1 memiliki *specific surface area* sebesar 3.5841 m²/g.

4.1.2.2 Data Pengujian BET Surface Area Plat Produsen 2

Pada pengujian BET Surface Area ini sampel yang diuji dibuat menjadi serbuk agar bisa dimasukkan kedalam sample cell BET Surface Area Analyzer. Prosedur analisis yang dilakukan

adalah prosedur analisis yang sudah ditetapkan di laboratorium Elektro Kimia ITS. Sampel yang diuji bermassa 0.17122 gram dengan prosedur degas dengan waktu 3 jam dengan suhu 300°C dan menggunakan gas analisis nitrogen. Metode pengukuran surface area yang digunakan adalah single point BET. Didapatkan hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Tabel hasil pengujian BET massa aktif plat Produsen 2

Quantachrome NovaWin - Data Acquisition and Reduction				
for NOVA instruments				
©1994-2007, Quantachrome Instruments				
version 10.01				
Analysis		Report		
Operator: ITS	Date: 2017/06/20	Operator: ITS	Date: 7/11/2017	
Sample ID: Irvan	Filename:	C:\Qcdata\Physisorb\17062001 Pb Postfir.qps		
Sample Desc: Serbuk	Comment:	20 Juni 2017		
Sample weight: 0.17122 g	Sample Volume:	0.12258 cc		
Outgas Time: 3.0 hrs	Outgas Temp:	300.0 C		
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K		
Press. Tolerance: 0.050/2.000 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout:	120/120 sec (ads/des)
Analysis Time: 73.0 min	End of run:	2017/06/20 17:47:15	Instrument:	Nova Station A
Cell ID: 35				
Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350 K	
Molec. Wt.:	28.013 g	Cross Section:	16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc
Relative Pressure	Volume @ STP	1 / [W((P/Po) - 1)]	Slope	Surf. Area
P/Po	cc/g			m²/g
9.95700e-02	0.3869	2.2867e+02	2296.5907	1.5164

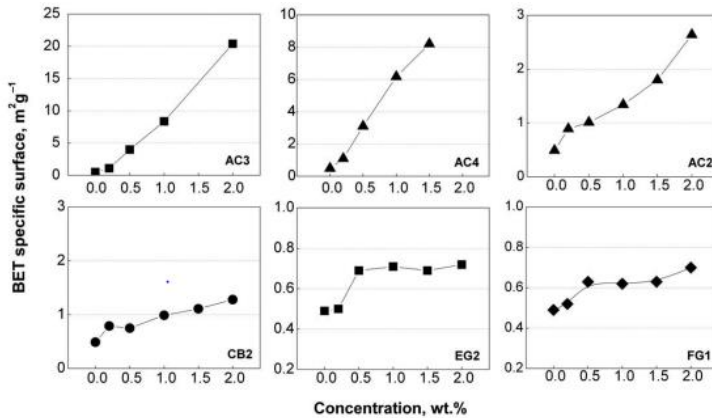
Didapatkan bahwa massa aktif dari plat Produsen 2 memiliki *specific surface area* sebesar 1.5164 m²/g.

4.2 Teori Terkait

Kapasitas, energi dan keluaran daya dari *lead acid* battery bergantung pada perubahan energi kimia menjadi energi listrik dan sebaliknya yang terjadi melalui proses elektro kimia yang terjadi akibat interaksi antara elektroda dan elektrolit, maka dari itu performa *lead acid* battery bergantung pada surface area dari massa aktif dari kedua elektroda. Reaksi yang terjadi pada kedua elektroda *lead acid* battery menghasilkan ion Pb²⁺ yang bereaksi dengan H₂SO₄ dan membentuk lapisan PbSO₄ pada permukaan dari massa aktif, yang membuat elektroda tidak dapat bereaksi.

Maka dari itu, karakteristik performa dari baterai ditentukan oleh surface area dari massa aktif dimana reaksi kimia terjadi. Karena itu jika massa aktif memiliki surface area yang kecil maka kapasitas dan performa daya dari baterai akan rendah. [6]

Dalam usaha peningkatan parameter performa dari baterai, permukaan massa aktif harus sangat berpori untuk menunjang reaksi elektrokimia yang berkelanjutan hingga bagian elektroda yang paling dalam. Dengan begitu hal ini akan meningkatkan karakteristik performa dari baterai. Salah satu cara meningkatkan surface area dari massa aktif elektroda *lead acid* battery adalah dengan penambahan karbon. Tujuan penambahan karbon pada pasta adalah meningkatkan electrochemically active surface dari massa aktif. Karbon yang biasa ditambahkan dalam pasta adalah carbon black, activated carbon dan lain lain. Sedangkan untuk graphite adalah purified natural flake graphite, expanded graphite, synthetic spherical graphite dan lain lain. Efek penambahan karbon pada pasta massa aktif dapat dilihat pada gambar 4.12. [6] Pada tahun 1987 dilaporkan bahwa pemakaian 0.1-2wt.% grafit dengan 99.6% kemurnian kedalam massa aktif plat positif lead-acid battery meningkatkan kapasitas dan cycle-life. Penelitian ini menggunakan XRD dan menemukan bahwa terjadi pembentukan bisulfate graphite intercalation compound pada proses formasi dan diindikasikan bahwa hal tersebut meningkatkan porositas dan berakibat bertambahnya akses elektrolit untuk bereaksi dengan massa aktif. [9]



Gambar 4. 12 Grafik perbandingan perbedaan BET surface area terhadap konsentrasi penambahan karbon

Pada umumnya kapasitas plat akan bertambah dengan seiringnya pertambahan surface area. Walaupun surface area bukan satu-satunya parameter yang mempengaruhi kapasitas dari plat. Gambar 2.18 adalah grafik kapasitas banding surface area dari berbagai macam plat yang memiliki komposisi fasa yang berbeda. Dapat dilihat bahwa semakin tingginya surface area massa aktif kapasitas juga bertambah.

4.3 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah didapatkan data berupa discharge curve dari tiap-tiap spesimen dan *specific surface area* dari 2 massa aktif yang diuji, maka data discharge curve diolah agar didapatkan besar kapasitas dari tiap-tiap spesimen yang diuji. Setelah data diolah, hasil data hasil kapasitas yang didapatkan dianalisa. Data dianalisa berdasarkan teori yang sudah ada dan hasil diskusi agar didapatkan hubungan antara *specific surface area* dan kapasitas dari massa aktif plat *lead acid battery*.

4.3.1 Perbandingan Hasil Data Kapasitas

Data discharge curve merupakan grafik beda potensial berbanding waktu. Untuk mengetahui kapasitas dari tiap-tiap spesimen maka waktu cut-off yang didapatkan dari discharge curve digunakan untuk menghitung kapasitas dari plat yang diuji. Perhitungan dari kapasitas berdasarkan waktu cut-off adalah sebagai berikut:

$$\text{Kapasitas} = \frac{\text{Waktu cut-off}}{3600} \times 0.5 \text{ A} \times 1000$$

[8].....(4.1)

Kapasitas = Kapasitas plat

0.5 A = Besar arus yang digunakan

Waktu cut-off = Waktu kurva discharge berhenti karena telah mencapai 1.5 volt

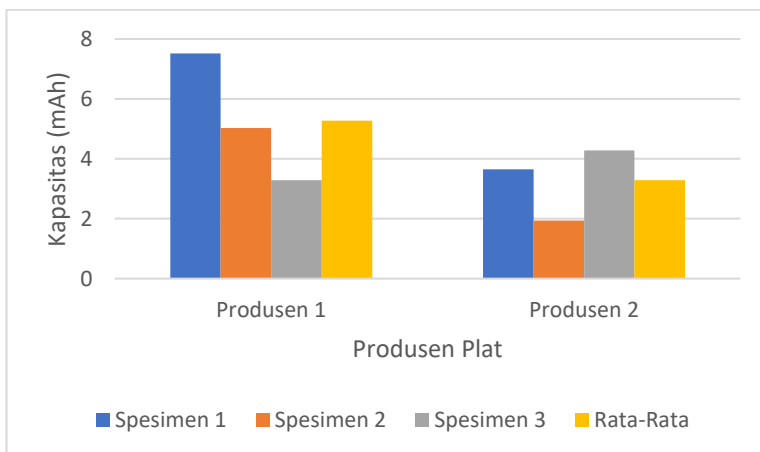
Waktu cut-off dibagi dengan 3600 untuk mengkonversi waktu dalam detik menjadi jam. Lalu waktu yang didapatkan dikali besar arus konstan yang diberikan pada saat pengujian. Pengalihan dengan 1000 untuk mengubah satuan kapasitas dari Ah menjadi mAh. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Tabel Hasil Perhitungan Kapasitas

Spesimen	Waktu	Kapasitas (mAh)	Rata-rata (mAh)
Produsen 1-1	54,1	7,5138	5,2778
Produsen 1-2	36,2	5,0278	
Produsen 1-3	23,7	3,2917	

Produsen 2-1	26,3	3,6528	3,2917
Produsen 2-2	14	1,9444	
Produsen 2-3	30,8	4,2778	

Tabel diatas merupakan tabel data hasil pengolahan discharge curve yang telah didapat. Selanjutnya data hasil setelah diolah diplotkan menjadi diagram batang untuk membandingkan kapasitas dari tiap-tiap spesimen dan plat. Diagram batang perbandingan kapasitas bisa dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Grafik perbandingan kapasitas tiap produsen

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa terdapat variasi pada data. Namun secara keseluruhan dapat dilihat bahwa plat positif Produsen 1 menghasilkan kapasitas yang relative lebih besar dibandingkan dengan plat positif Indobat. Kapasitas terbesar yang didapat dari pengujian plat Produsen 2 ada pada spesimen Produsen 2-3 yaitu 4,278 mAh namun masih relatif lebih rendah

jika dibandingkan dengan kapasitas tertinggi dari plat Produsen 1 yaitu spesimen Produsen 1-1 yang memiliki kapasitas sebesar 7,5138 mAh. Begitu pula dengan kapasitas terkecil yang didapat dari hasil pengujian kedua plat didapatkan kapasitas terkecil dari Produsen 1 yaitu dari spesimen Produsen 1-3 memiliki kapasitas sebesar 3,2916 mAh masih relative lebih besar dibandingkan dengan kapasitas terkecil yang didapatkan dari pengujian plat Produsen 2 yaitu pada plat Produsen 2-2 yang memiliki kapasitas sebesar 1,9444 mAh. Memperjelas perbandingan ini rata-rata dari tiap kapasitas yang diperoleh dari tiap plat juga menunjukkan bahwa plat Produsen 1 memiliki kapasitas yang lebih besar yaitu dengan rata-rata kapasitas sebesar 5,2777 mAh sedangkan rata-rata dari plat Produsen 2 adalah 3,2916 mAh.

4.3.2 Perbandingan Data Kapasitas Tiap Cycle Pada Spesimen Yang Diuji Sebanyak 50 Cycle

Dari hasil data pengujian spesimen yang diuji charge dan discharge sebanyak 50 cycle dari produsen 1 dan produsen 2. Didapatkan waktu discharge pada tiap cycle yang harus diolah menjadi kapasitas. Untuk mengubah waktu discharge menjadi kapasitas maka digunakan persamaan berikut:

$$Kapasitas \text{ Tiap Cycle} = \frac{Waktu \text{ cut-off}}{3600} \times 0.2 \text{ A} \times 1000$$

[8].....(4.2)

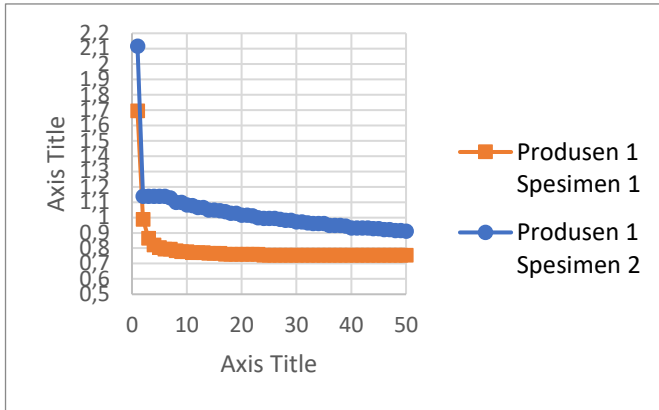
Kapasitas = Kapasitas plat

0.2 A = Besar arus yang digunakan

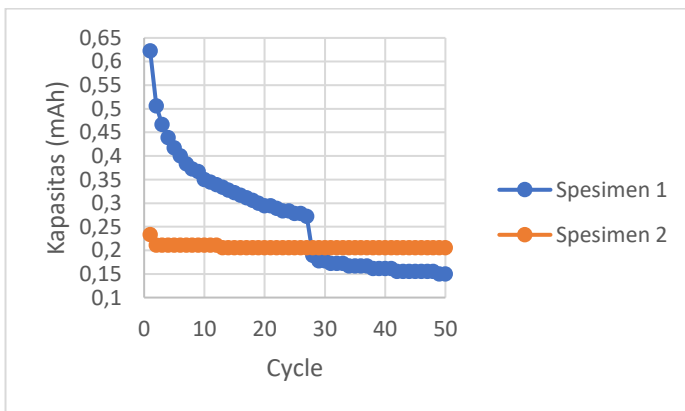
Waktu cut-off = Waktu kurva discharge berhenti karena telah mencapai 1.75 volt

Waktu cut-off dibagi dengan 3600 untuk mengkonversi waktu dalam detik menjadi jam. Lalu waktu yang didapatkan dikali besar arus konstan yang diberikan pada saat pengujian. Pengalian dengan 1000 untuk mengubah satuan kapasitas dari Ah menjadi

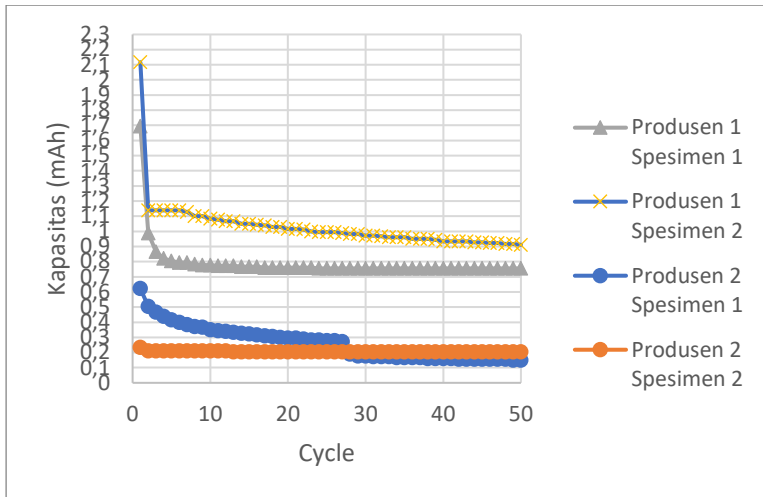
mAh. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan data yang dapat dilihat pada gambar 4.14, 4.15 dan 4.16.



Gambar 4. 14 Data Hasil Kapasitas Tiap Cycle Uji 50 Cycle Produsen 1



Gambar 4. 15 Data Hasil Kapasitas Tiap Cycle Uji 50 Cycle Produsen 2



Gambar 4. 16 Perbandingan Kapasitas Uji 50 Cycle Produsen 1 dan Produsen 2

Hasil yang didapatkan adalah kapasitas pada spesimen 1 produsen 1 pada cycle pertama sebesar 1,69 mAh lalu kemudian turun drastis menjadi 0,99 mAh pada cycle kedua dan turun kembali secara halus dan stabil pada besar kapasitas 0,75 mAh. Pada spesimen 2 produsen 1 didapatkan kapasitas cycle pertama sebesar 2,11 mAh lalu turun drastis menjadi 1,13 mAh pada cycle kedua dan stabil pada 0,9 mAh sampai cycle ke 50. Sedangkan pada spesimen 1 produsen 2 cycle pertama kapasitas yang didapat adalah 0,62 mAh dan menurun drastis pada cycle kedua dengan kapasitas 0,5 mAh lalu terus menurun perlahan sampai 0,27 mAh pada cycle ke 27. Lalu turun drastis pada cycle ke 28 dengan kapasitas 0,19 mAh dan terus menurun sampai cycle ke 50 dengan kapasitas 0,15 mAh. Pada spesimen 2 produsen 2 didapatkan kapasitas cycle pertama sebesar 0,23 mAh lalu turun drastis menjadi 0,21 mAh pada cycle ke dua. Penurunan drastis juga terjadi pada cycle 13 menjadi 0,2 mAh lalu stabil.

4.3.3 Perbandingan Data Pengujian Cut-off Voltage 1.95 Selama 10 Cycle

Dari hasil data pengujian spesimen yang diuji charge dan discharge sebanyak 50 cycle dari produsen 1 dan produsen 2. Didapatkan waktu discharge pada tiap cycle yang harus diolah menjadi kapasitas. Untuk mengubah waktu discharge menjadi kapasitas maka digunakan persamaan berikut:

$$\text{Kapasitas Tiap Cycle} = \frac{\text{Waktu cut-off}}{3600} \times 0.2 \text{ A} \times 1000$$

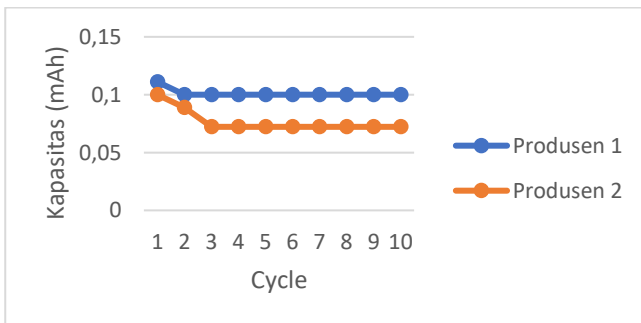
[8].....(4.3)

Kapasitas = Kapasitas plat

0.2 A = Besar arus yang digunakan

Waktu cut-off = Waktu kurva discharge berhenti karena telah mencapai 1.95 volt

Waktu cut-off dibagi dengan 3600 untuk mengkonversi waktu dalam detik menjadi jam. Lalu waktu yang didapatkan dikali besar arus konstan yang diberikan pada saat pengujian. Pengalian dengan 1000 untuk mengubah satuan kapasitas dari Ah menjadi mAh. Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan data yang dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4. 17 Data hasil kapasitas tiap cycle pengujian cut-off voltage 1.95 Volt

Hasil yang didapatkan adalah kapasitas kedua produsen relatif tidak jauh berbeda. Dimana pada cycle pertama produsen 1 menghasilkan kapasitas 0,11 mAh dan produsen 2 menghasilkan kapasitas 0,1 mAh. Lalu produsen 1 stabil pada 0,1 mAh dan produsen 2 stabil pada 0,07 mAh.

4.3.4 Kesesuaian Terhadap Teori dan Pembahasan

Data yang didapat sudah sesuai dengan teori dimana plat Produsen 1 yang memiliki surface area yang lebih besar yaitu $3.5841 \text{ m}^2/\text{g}$ memiliki kapasitas rata-rata yang lebih besar juga yaitu 5,2778 mAh dibandingkan dengan plat Produsen 2 yang memiliki surface area sebesar $1.5164 \text{ m}^2/\text{g}$ dan kapasitas rata-rata sebesar 3,2917 mAh. Selanjutnya dilihat dari kapasitas pada spesimen yang diuji 50 cycle didapatkan pada cycle pertama spesimen produsen 1 memiliki kapasitas 1,69 mAh, hal ini menunjukkan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan kapasitas produsen 2 pada cycle pertama yaitu sebesar 0,62. Hal serupa juga terjadi pada cycle terakhir yaitu kapasitas spesimen produsen 1 lebih besar dari kapasitas spesimen produsen 2, hal ini bisa dilihat dari kapasitas cycle ke 50 dari produsen 1 sebesar 0,75 mAh sedangkan kapasitas spesimen produsen 2 pada cycle ke 50 adalah 0,15 mAh. Hal ini menunjukkan bahwa data yang didapat sudah sesuai dengan teori dimana dengan bertambahnya surface area massa aktif maka bertambah pula kapasitas dari plat *lead acid* battery, walaupun kapasitas tidak hanya ditentukan hanya oleh *specific surface area* saja.

Besarnya surface area pada plat Produsen 1 diakibatkan oleh adanya additive graphite yang ditambahkan dalam pasta massa aktifnya sebagai mana telah disebutkan dalam teori terkait bahwa dengan penambahan graphite terjadi pembentukan bisulfate graphite intercalation compound pada proses formasi dan diindikasikan bahwa hal tersebut meningkatkan porositas dan berakibat bertambahnya akses elektrolit untuk bereaksi dengan massa aktif. [9] Dengan bertambahnya surface area dari massa aktif maka sesuai dengan teori sebelumnya akan diikuti dengan

pertambahan kapasitas dibuktikan dengan rata-rata kapasitas dari 3 sampel Produsen 1 yang lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kapasitas 3 spesimen Produsen 2. Sedangkan pada massa aktif plat Produsen 2 surface area massa aktifnya kecil dikarenakan additif yang ditambahkan pada massa aktifnya hanya fiber sehingga surface area massa aktifnya cenderung lebih kecil. Namun masih diperlukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh penambahan dari berbagai macam additive terhadap pertambahan surface area dari massa aktif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis hubungan antara *specific surface area* dan kapasitas massa aktif dari sampel plat positif yang diuji berdasarkan studi literatur, analisis data dan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengujian BET *specific surface area* dari massa aktif plat positif Produsen 1 adalah sebesar $3.5841 \text{ m}^2/\text{g}$ dengan rata-rata kapasitas tiap spesimen dari Produsen 1 yang diuji menggunakan Potentiostat/Galvanostat adalah sebesar 5,2778 mAh dan hasil kapasitas pengujian 50 cycle hasil cycle pertama pada spesimen 1 menghasilkan kapasitas 1,69 mAh dan cycle terakhir 0,75 mAh, pada spesimen 2 kapasitas cycle pertama sebesar 2,11 dan kapasitas cycle 50 adalah 0,91. Sedangkan hasil dari pengujian BET *specific surface area* dari massa aktif plat positif dari Produsen 2 adalah sebesar $1.5164 \text{ m}^2/\text{g}$ dengan rata-rata kapasitas tiap spesimen dari Produsen 2 yang diuji menggunakan Potentiostat/Galvanostat adalah sebesar 3,2917 mAh dan hasil pengujian 50 cycle pada spesimen 1 kapasitas cycle pertama sebesar 0,62 mAh dan kapasitas cycle 50 sebesar 0,15 mAh, pada spesimen 2 kapasitas cycle pertama sebesar 0,23 mAh dan kapasitas pada cycle 50 adalah 0,2 mAh.
2. Produsen yang memiliki *specific surface area* yang lebih tinggi memiliki kapasitas massa aktif yang lebih tinggi pula. Hal ini didapat dari analisa data yang sudah ada berdasarkan Uji BET dan Potentiostat/Galvanostat yang dipaparkan diatas.
3. Surface area yang tinggi baik untuk menunjang kapasitas pada penggunaan deep discharge hal ini dapat dilihat dari data cut-off voltage 1.75 volt yang menunjukkan bahwa dengan surface area yang lebih tinggi maka kapasitas juga

lebih baik. Sedangkan pada pengujian dengan cut-off voltage 1.95 volt kedua produsen tidak menunjukkan perbedaan kapasitas yang jauh.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukannya penelitian yang sama namun dengan plat negatif yang memiliki komposisi pasta yang berbeda untuk mengetahui bagaimana hasil kapasitas yang dihasilkan dan hubungannya dengan *specific surface areanya* pada plat negatif.
2. Diperlukannya penelitian bagaimana pengaruh dari penambahan grafit pada pasta massa aktif pada *specific surface area* karena dengan mengetahui pengaruh penambahan grafit dengan jumlah yang berbeda-beda akan didapatkan jumlah penambahan grafit yang paling efektif dan efisien terhadap performa massa aktif plat.
3. Besar arus dan scan rate dapat diperkecil agar mendapatkan data berresolusi lebih kecil agar data lebih akurat namun membutuhkan waktu pengujian yang lebih lama.
4. Proses degas pada pengujian BET bisa dilakukan lebih lama dari 3 jam agar gas pengotor pada spesimen lebih sedikit dan keakuratan hasil pengujian BET lebih baik.
5. Menyimpan spesimen plat positif maupun negatif menggunakan kontainer yang kedap udara agar plat tidak mengalami oksidasi selama penyimpanan. Sebaiknya plat positif dan negatif diuji secepatnya setelah plat didapatkan guna meminimalisir oksidasi yang terjadi pada plat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, 1949-2015," [Online]. Available: <http://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>. [Accessed 25 Maret 2017].
- [2] Battery University, "What's the Best Battery?," 21 Maret 2017. [Online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery. [Accessed 25 Maret 2017].
- [3] E. E. Ferg, P. Loyson and N. Rust, "Porosity Measurement of Electrodes Used In Lead-Acid Battery," *Journal of Power Source*, no. 141, pp. 316-325, 2005.
- [4] A. N., "The Impact of the Content of Lead Oxide on the Porosity and Volume," *Bulletin of the Chemists and Technologists*, no. 39, pp. 29-33, 2012.
- [5] C. Suozzo, "Lead-Acid Battery Aging and State of Health Diagnosis," The Ohio State University, 2008.
- [6] D. Pavlov, *Lead acid batteries science and technology*, Oxford: Elsevier, 2011.
- [7] J. M. Zielinski and L. Kettle, "Physical Characterization: Surface Area and Porosity," 2013.
- [8] U.S. Departement of Energy, *PRIMER ON LEAD-ACID STORAGE*, Washington, D.C.: U.S. Departement of Energy, 1995.

- [9] R. N. A. H. P.T. Moseley, "The role of carbon in valve-regulated lead–acid battery technology," *Journal of Power Sources*, pp. 3-10, 2006.
- [10 D. Pavlov, "Premature capacity loss (PCL) of the positive
] lead/acid battery plate: a new concept to describe the phenomenon," *Journal of Power Sources*, pp. 345-363, 1993.
- [11 Battery University, "BU-804b: Sulfation and How to Prevent
] it," 22 September 2016. [Online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/sulfation_and_how_to_prevent_it. [Accessed 25 Maret 2017].
- [12 H. Giesche, "Mercury porosimetry: general (practical)
] overview," *Part. Part. Syst. Charact.*, no. 23, pp. 1-11, 2006.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Langkah-langkah pengujian Potentiostat/Galvanostat:

1. Nyalakan PC yang terhubung dengan alat Potentiostat/Galvanostat.
2. Nyalakan alat Potentiostat/Galvanostat dengan menekan tombol power dan tombol cell on pada alat.
3. Kalibrasi alat, prosedur kalibrasi ada pada buku manual. Sebelum alat digunakan untuk pengujian alat wajib dikalibrasi.
4. Instal sel uji dengan rangkaian 2 elektroda dimana sambungan WE dan SE disambungkan satu sama lain dan dijepit ke elektroda yang ingin diuji, lalu sambungan CE dan RE disambungkan antara satu sama lain lalu disambungkan ke elektroda counter.
5. Nyalakan software NOVA.
6. Pilih prosedur chrono charge discharge Galvanostatic pada tab procedure. Maka akan tampil program sebagai berikut:

Test Charge Discharge		
Remarks	Chrono charge discharge: no extra mo... ...	
End status Autolab	...	
Signal sampler	Time, WE(1).Potential, WE(1).Current ...	
Options	0 Options ...	
Instrument	AUT84992	
Instrument description		
Timed procedure		
Autolab control	...	
WE(1).Mode	Galvanostatic	
WE(1).Bandwidth	High stability	
WE(1).Current range	1 A	
Set current	0.000E+00	
Current (A)	0.000E+00	
Set cell	On ...	
WE(1).Cell	On ...	
Wait time (s)	3	
Duration (s)	3	
↔		
Repeat n times	50	
Number of repetitions	50	
Timed procedure		
Set current	2.000E-01	
Record signals (>1 ms)	[15, 0.1] -	
Set current	-2.000E-01	
Record signals (>1 ms)	[3600, 0.1] -	
↔		

7. Atur set current untuk mendapatkan arus yang ingin digunakan dan repeat n times untuk menentukan berapa cycle pengujian yang akan dilakukan.
8. Klik tombol start maka analisis sudah dimulai. Tunggu sampai analisis selesai lalu klik tombol database untuk mengambil data hasil pengujian yang telah dilakukan.

BIODATA PENULIS



Irvan Ardiyan dilahirkan di Jakarta, 4 Januari 1996 anak yang terlahir dari orangtua terbaik bernama Harisman dan Riana Ardiyanti. Riwayat pendidikan penulis diawali di SDN 21 Serang 2001-2007. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMPN I Kota Serang, Kab. Serang pada tahun 2007-20010, kemudian melanjutkan pendidikannya di SMAN I Kota Serang pada tahun 2010-2013. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan jenjang S-1 Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh

Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SBMPTN.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun organisasi selama perkuliahan. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen di kelas. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis aktif menjadi anggota Mechanical Engineering English Community. Dalam organisasi umum penulis sempat tergabung dalam organisasi Earth Hour Surabaya. Untuk semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email Irvan025@gmail.com.